

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA  
FAKULTA STROJNÍ  
KATEDRA ENERGETIKY

Návrh tepelného čerpadla voda - voda

Water to Water Heat Pump Design

Vedoucí diplomové práce:  
Student:

doc. Ing. Mojmír Vrtek, Ph.D.  
Bc. Michal Kramoliš

Ostrava, 2012

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra energetiky

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Michal Kramoliš**  
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 2302T006 Energetické stroje a zařízení  
Téma: **Návrh tepelného čerpadla voda - voda**  
**Water to Water Heat Pump Design**

Zásady pro vypracování:

Vypracujte projekt systému vytápění a přípravy teplé vody ve vybraném rodinném domě s využitím tepelného čerpadla voda - voda. Při návrhu vycházejte z konkrétních klimatických poměrů v dané lokalitě. Diplomová práce bude obsahovat:

1. Výpočet sezónní potřeby tepla pro vytápění a přípravu teplé vody, kapacitní a bilanční výpočty.
2. Konstrukční návrh tepelného čerpadla a zapojení TČ do stávajícího systému.
3. Stanovení environmentálního přínosu projektu a ekonomické vyhodnocení.

Grafické práce:

1. Sestava tepelného čerpadla.
2. Schéma systému vytápění a přípravy teplé vody.
3. Dispoziční uspořádání v rámci objektu.

Seznam doporučené odborné literatury:

KAMINSKÝ, J.; VRTEK, M. *Obnovitelné zdroje energie*. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 1998. 102 s. ISBN 80-7078-445-8.

HUMM, O. *Nízkoenergetické domy*. Praha : Grada, 1999. 353 s. ISBN 80-7169-657-9.

SMOLÍK, J. *Technika prostředí*. Praha : SNTL / ALFA, 1985. 317 s.

DVOŘÁK Z., KLAZAR L., PETRÁK J. *Tepelná čerpadla*. Vyd. 1. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1987. 339 s.

TURNER W. C. *Energy Management Handbook*. 5. vydání, Lilburn: The Fairmont Press, Inc., 1997. 400 s. ISBN: 0-13-728098-X.


MORAN, M.J.; SHAPIRO, H.N. *Fundamental of Engineering Thermodynamics*. 2. vyd. New York: John Wiley & Sons Inc., 1992. 844 s. ISBN 0470030372.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Mojmír Vrtek, Ph.D.**

Datum zadání: 16.12.2011

Datum odevzdání: 21.05.2012

  
prof. Ing. Dagmar Juchelková, Ph.D.  
vedoucí katedry



  
prof. Ing. Radim Farana, CSc.  
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě .....20.5.2012.....

.....  
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : 20.5.2012

  
Podpis

Jméno a příjmení autora práce: Michal Kramoliš

Adresa trvalého pobytu autora práce: Hraničky 650  
Štramberk 742 66

## ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

KRAMOLIŠ, M. *Návrh tepelného čerpadla voda- voda : diplomová práce*. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, katedra energetiky, 2012, 73 str.

Vedoucí práce: doc. Ing. Mojmír Vrtek, Ph.D.

Diplomová práce se zabývá návrhem systému na vytápění a přípravu teplé užitkové vody s využitím tepelného čerpadla voda – voda. Práce obsahuje výpočet tepelných ztrát domu a celkové spotřeby tepla na vytápění a ohřev teplé užitkové vody během roku, na základě čehož jsem pak navrhnul jednotlivé části tepelného čerpadla a celého otopného systému domu. V závěru práce jsem poté provedl ekonomické srovnání provozu stávajícího plynového kotle a nákladů na pořízení a provoz navrženého topného systému, a také srovnání vlivu obou složek na životní prostředí.

## ANNOTATION OF MASTER THESIS

KRAMOLIŠ, M. *Water to Water Heat Pump Design : Master Thesis*. Ostrava : VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Energy Engineering, 2012, 73 pages.

Thesis head: doc. Ing. Mojmír Vrtek, Ph.D.

This master thesis describes the design of a system for heating and preparing warm service water using water to water heat pump. This work includes the calculation of building heat loss and total heat consumption for heating and warming service water during the year. On the basis of this I suggested individual components of the heat pump and the whole system of building heating. At the end of the work I performed an economic comparison of the current gas boiler work with the costs of acquisition and operation of the designed heating system, and also comparison of the influence of both components on the environment.

# Obsah

Seznam použitých symbolů a značek .....	1
Seznam zkratk .....	5
1. Úvod .....	6
2. Základní informace o rodinném domě .....	7
3. Výpočet tepelných ztrát domu .....	7
3.1 Základní tepelná ztráta .....	7
3.1.1 Základní tepelná ztráta prostupem tepla obvodovými zdmi .....	8
3.1.2 Základní tepelná ztráta prostupem tepla okny a dveřmi .....	9
3.1.3 Základní tepelná ztráta prostupem tepla podlahou .....	10
3.1.3 Základní tepelná ztráta prostupem tepla soklem .....	11
3.2 Tepelná ztráta prostupem tepla .....	12
3.3 Tepelná ztráta větráním .....	13
3.4 Tepelné zisky .....	15
3.5 Celková tepelná ztráta místnosti 1.01+1.02 .....	15
3.6 Celková tepelná ztráta domu .....	15
4. Spotřeba tepla .....	16
4.1 Spotřeba tepla na pokrytí tepelných ztrát objektu .....	16
4.2 Potřeba tepla pro přehřev TV .....	18
4.3 Potřeba tepla pro dohřev TV .....	20
4.4 Celková spotřeba tepla .....	23
5. Tepelné čerpadlo .....	23
5.1 Princip tepelného čerpadla .....	23
5.2 Dělení tepelných čerpadel .....	24
5.2.1 Zdroj tepla - zemní kolektory (země-voda) .....	24
5.2.2 Zdroj tepla – vzduch (vzduch-voda) .....	25
5.3.3 Zdroj tepla - podpovrchová voda (voda-voda) .....	26
5.2.4 Zdroj tepla - povrchová voda (voda-voda) .....	27
5.4 Pracovní cyklus tepelného čerpadla .....	28
6. Návrh systému pro vytápění a přípravu TUV .....	29
6.1 Stanovení bivalentního provozu .....	30
6.1.1 Monovalentní provoz .....	30
6.1.2 Paralelně bivalentní provoz .....	30
6.1.3 Alternativně bivalentní provoz .....	31
6.2 Výpočet tepelného čerpadla .....	32
7. Návrh otopné soustavy .....	37

7.1 Primární okruh .....	37
7.1.1 Čerpací a vsakovací studna .....	37
7.1.2 Ponorné čerpadlo .....	38
7.2 Chladivový okruh .....	40
7.2.1 Chladivo .....	41
7.2.2 Kompresor .....	42
7.2.3 Výměníky tepla .....	44
7.2.4 Presostaty .....	47
7.2.5 Sběrač chladiva .....	48
7.2.6 Filtredehydrátor .....	49
7.2.7 Elektromagnetický ventil .....	50
7.2.8 Průhledítko .....	51
7.2.9 Termostatický expanzní ventil .....	52
7.2.10 Potrubí .....	53
7.3 Sekundární okruh .....	53
7.3.1 Akumulační zásobník .....	54
7.3.2 Zásobník TUV .....	55
7.3.3 Záložní topné těleso .....	56
7.3.4 Expanzní nádoba .....	56
7.3.5 Oběhová čerpadla .....	57
8. Ekonomické zhodnocení .....	58
8.1 Náklady na vytápění a ohřev TUV plynovým kotlem .....	58
8.2 Náklady na zřízení tepelného čerpadla .....	59
8.3 Náklady na vytápění a ohřev TUV tepelným čerpadlem .....	60
8.4 Celkové ekonomické zhodnocení .....	62
9. Environmentální zhodnocení .....	62
9.1 Produkce emisí tepelným čerpadlem .....	63
9.2 Produkce emisí plynovým kotlem .....	63
9.3 Srovnání produkce emisí obou zdrojů .....	63
10. Závěr .....	64
Seznam použité literatury .....	65
Použité výpočtové programy .....	65
Seznam příloh .....	66

## Seznam použitých symbolů a značek

<u>Značka</u>	<u>Název</u>	<u>Jednotka</u>
$a_{ie}$	Izoentropická práce kompresoru	$\text{kJ/kg}$
$B$	Charakteristické číslo budovy	$\text{Pa}^{0,67}$
$c_{p,dohřev}$	Měrná tepelná kapacita TV při dohřevu	$\text{J/kg}\cdot\text{K}$
$c_{p,TV}$	Měrná tepelná kapacita TV	$\text{kJ/kg}\cdot\text{K}$
$c_{p,zásobník,TV}$	Měrná tepelná kapacita Tv v zásobníku	$\text{kJ/kg}\cdot\text{K}$
$C_{PLK}$	Roční náklady na vytápění a ohřev TUV plynovým kotlem	$\text{Kč/rok}$
$C_{TČ}$	Celkové roční náklady na vytápění a ohřev TUV TČ	$\text{Kč/rok}$
$C_{\dot{U}}$	Roční úspora nákladů	$\text{Kč/rok}$
$c_v$	Objemová tepelná kapacita vzduchu	$\text{J/m}^3\cdot\text{K}$
$D$	Výše dotace	$\text{Kč/rok}$
$dc$	Celkový počet dní otopného období	-
$d_i$	Počet dní v i-tém měsíci s průměrnou teplotou	-
$d_k$	Vnitřní průměr kapalinové trubky	$\text{m}$
$D_k$	Vnější průměr kapalinové trubky	$\text{m}$
$D_N$	Doba návratnosti	$\text{rok}$
$d_s$	Vnitřní průměr sací trubky	$\text{m}$
$D_s$	Vnější průměr sací trubky	$\text{m}$
$d_v$	Vnitřní průměr výtlačné trubky	$\text{m}$
$D_v$	Vnější průměr výtlačné trubky	$\text{m}$
$E_{CT}$	Celková roční spotřeba tepla	$\text{J/rok}$
$E_{CT,TČ,sk}$	Skutečná spotřeba energie	$\text{J/rok}$
$E_{dohřev,rok}$	Teplo potřebné pro dohřev TV	$\text{J/rok}$
$E_{předehřev,rok}$	Množství energie za rok na předehřev vody pomocí TČ	$\text{J/rok}$
$E_{T,J/rok}$	Roční potřeba tepla na vytápění	$\text{J/rok}$
$E_{T,září,J}$	Potřeba tepla na vytápění v měsíci září	$\text{J}$
$E_{ti}$	Potřeba tepla na vytápění v i-tém měsíci	$\text{J}$
$E_{TZL,PLK}$	Množství emisí z plynového kotle	$\text{kg/rok}$
$E_{TZL,TČ}$	Množství emisí z TČ	$\text{kg/rok}$
$H$	Výška	$\text{m}$
$h_i$	Entalpie v i-tém bodě	$\text{kJ/kg}$
$i_{L,v}$	Součinitel spárové průvzdušnosti	$\text{m}^2/\text{s}\cdot\text{Pa}^{0,67}$



$k_c$	Průměrný součinitel prostupu tepla	$W/m^2 \cdot K$
$k_{ok+dv}$	Součinitel prostupu tepla okny a dveřmi	$W/m^2 \cdot K$
$k_{oz}$	Součinitel prostupu tepla obvodovými zdmi	$W/m^2 \cdot K$
$k_{po}$	Součinitel prostupu tepla podlahou	$W/m^2 \cdot K$
$k_{so}$	Součinitel prostupu tepla soklem	$W/m^2 \cdot K$
$L$	Délka spár otevíratelných oken a venkovních dveří	m
$l_i$	Tloušťka materiálu i-té vrstvy	m
$M$	Charakteristické číslo místnosti	-
$m$	Hmotnostní průtok chladiva	kg/s
$m_h$	Hmotnostní průtok chladiva za hodinu	kg/h
$m_v$	Potřebný průtok vody v primárním okruhu	$m^3/s$
$n_h$	Potřeba intenzity výměny vzduchu	$h^{-1}$
$n_{os}$	Počet osob v domácnosti	-
$N_{TČ}$	Celkové investiční náklady na TČ	Kč
$p_1$	Přirážka na vyrovnání vlivu chladných konstrukcí	-
$p_2$	Přirážka na urychlení zátoku	-
$p_3$	Přirážka na světovou stranu	-
$P_{el}$	Výkon elektrického tělesa	W
$P_{ie}$	Izoentropický příkon kompresoru	W
$P_{IN}$	Potřebný výkon zdroje tepla	W
$p_k$	Kondenzační tlak	Pa
$P_{k,sk}$	Skutečný celkový příkon kompresoru	Wh/rok
$P_{předhřev}$	Množství energie za rok na předehřev vody pomocí TČ	W
$p_v$	Vypařovací tlak	Pa
$Q_c$	Celková tepelná ztráta místnosti	W
$Q_{c,RD}$	Tepelná ztráta rodinného domu	W
$Q_{c,sk}$	Skutečná celková spotřeba tepla	Wh/rok
$Q_{CT}$	Celková roční spotřeba tepla	Wh/rok
$Q_{dohřev,den}$	Teplo potřebné pro dohřev TV	Wh/den
$Q_{dohřev,rok}$	Teplo potřebné pro dohřev TV	Wh/rok
$q_{ch}$	Měrná chladivost	kJ/kg
$Q_{ch}$	Chladicí výkon	W
$Q_k$	Výkon čerpadla	W
$Q_{k,a}$	Tepelná bilance kondenzátoru	W

$Q_{k,b}$	Tepelná bilance výparníku	W
$Q_{k,c}$	Tepelná bilance celého oběhu	W
$Q_{k,i}$	Tepelná bilance i-té složky	W
$Q_O$	Základní tepelná ztráta místnosti	W
$Q_{ok+dv}$	Tepelná ztráta okny a dveřmi	W
$Q_{Ooz}$	Tepelná ztráta obvodovými zdmi	W
$Q_{Opo}$	Tepelná ztráta okny a dveřmi	W
$Q_{Oso}$	Tepelná ztráta soklem	W
$Q_P$	Tepelná ztráta místnosti prostupem tepla	W
$Q_{předehřev,rok}$	Množství energie za rok na předehřev vody pomocí TČ	Wh/rok
$q_t$	Měrná topivost	kJ/kg
$Q_{T,Wh/rok}$	Roční potřeba tepla na vytápění	Wh/rok
$Q_{T,září,Wh}$	Potřeba tepla na vytápění v měsíci září	Wh
$Q_{ti,Wh}$	Potřeba tepla na vytápění v i-tém měsíci	W
$Q_v$	Tepelná ztráta prostoru větráním	W
$Q_z$	Tepelné zisky	W
$S$	Obsah	m <sup>2</sup>
$S_{DV}$	Obsah dveří	m <sup>2</sup>
$S_k$	Průřez kapalinového potrubí	m <sup>2</sup>
$S_{OK}$	Obsah oken	m <sup>2</sup>
$S_{PO}$	Obsah podlahy	m <sup>2</sup>
$S_s$	Průřez sacího potrubí	m <sup>2</sup>
$S_{SS}$	Obsah stěny severní	m <sup>2</sup>
$S_{SV}$	Obsah stěny východní	m <sup>2</sup>
$S_v$	Průřez výtlačného potrubí	m <sup>2</sup>
$t_e$	Teplota exteriér	°C
$t_{es,i}$	Vnější výpočtová teplota i-tého měsíce	°C
$t_i$	Teplota interiér	°C
$t$	Teplota v i-tém bodě	°C
$t_k$	Teplota kondenzační	°C
$t_p$	Požadovaná teplota TV	°C
$t_{stř,dohřev}$	Střední teplota pro dohřev	°C
$t_{stř,TV}$	Střední teplota TV	°C
$t_{stř,zásobník,TV}$	Střední teplota vody v zásobníku	°C
$t_v$	Vypařovací teplota	°C

$t_{v1}$	Teplota předeřáté TV pomocí TČ	$^{\circ}\text{C}$
$t_{v2}$	Původní teplota vody na vstupu do zásobníku	$^{\circ}\text{C}$
$t_{vs}$	Teplota vstupní vody	$^{\circ}\text{C}$
$t_{vys}$	Teplota výstupní vody	$^{\circ}\text{C}$
$t_z$	Teplota přilehlé zeminy	$^{\circ}\text{C}$
$TZL_{el}$	Emisní limit pro TZL u elektřiny	$\text{kg/GJ}$
$TZL_{zp}$	Emisní limit pro zemní plyn	$\text{kg/GJ}$
$v$	Objemový průtok chladiva	$\text{m}^3/\text{h}$
$V_{aku}$	Objem akumulční nádrže	$\text{l/kW}$
$v_k$	Objemový průtok chladiva v kapalinovém potrubí	$\text{m}^3/\text{h}$
$V_m$	Vnitřní objem místnosti	$\text{m}^3$
$V_M$	Měrný objem	$\text{l/kW}$
$V_{os,d}$	Množství vody na osobu a den	$\text{m}^3/\text{osobu} \cdot \text{den}$
$v_s$	Objemový průtok chladiva v sacím potrubí	$\text{m}^3/\text{h}$
$V_{TV}$	Potřebný objem TV za rok	$\text{m}^3$
$V_{TV,D}$	Potřebný objem TV za den	$\text{m}^3$
$V_v$	Objemový tok větracího vzduchu	$\text{h}^{-1}$
$v_v$	Objemový průtok chladiva ve výtlačném potrubí	$\text{m}^3/\text{h}$
$V_{vH}$	Objemový tok větracího vzduchu z hyg. a tech. požadavků	$\text{m}^3/\text{s}$
$V_{vp}$	Objemový tok větracího vzduchu při přirozeném větrání	$\text{m}^3/\text{s}$
$V_{zásobník,TV}$	Objem zvoleného zásobníku	$\text{m}^3$
$w_k$	Rychlost proudění v kapalinovém potrubí	$\text{m/s}$
$w_s$	Rychlost proudění v sacím potrubí	$\text{m/s}$
$w_v$	Rychlost proudění ve výtlačném potrubí	$\text{m/s}$
$\alpha_e$	Součinitel přestupu tepla na vnější straně konstrukce	$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$
$\alpha_i$	Součinitel přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce	$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$
$\alpha_z$	Součinitel přestupu tepla přilehlé zeminy	$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$
$\varepsilon_{ch}$	Chladicí faktor	-
$\varepsilon_t$	Topný faktor	-
$\varepsilon_{t,sk}$	Průměrný skutečný topný faktor	-
$\lambda$	Součinitel tepelné vodivosti	$\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$
$\lambda_i$	Součinitel tepelné vodivosti i-té vrstvy	$\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$
$\rho_i$	Hustota chladiva v i-té části	$\text{kg}/\text{m}^3$
$\rho_k$	Hustota chladiva v kapalinovém potrubí	$\text{kg}/\text{m}^3$

$\rho_s$	Hustota chladiva v sacím potrubí	$\text{kg/m}^3$
$\rho_{TV}$	Hustota TV	$\text{kg/m}^3$
$\rho_{TV, \text{dohřev}}$	Hustota TV pro střední teplotu dohřevu	$\text{kg/m}^3$
$\rho_v$	Hustota chladiva ve výtlačném potrubí	$\text{kg/m}^3$
$\rho_{\text{zásobník, TV}}$	Hustota TV v zásobníku	$\text{kg/m}^3$
$\sigma$	Kompresní poměr	-
$\Sigma(i_{LV})$	Součet průvzdušnosti oken a dveří	$\text{m}^3/\text{s} \cdot \text{Pa}^{0,67}$
$\tau$	Doba potřebná pro přehřev vody	h
$\tau_C$	Celková doba plnění zásobníku	hod
$\varphi$	Čerpací poměr	-
$\eta_{el}$	Účinnost elektromotoru	-

## Seznam zkratk

D56d	Dvoutarifová sazba za elektrickou energii
EMV	Elektromagnetický ventil
ERÚ	Energetický regulační úřad
PE	Polyethylén
TČ	Tepelné čerpadlo
TEV	Termostatický expanzní ventil
TUV	Teplá užitková voda
TV	Teplá voda
TZL	Tuhé znečišťující látky

## 1. Úvod

V dnešní době převládá tendence neustále vylepšovat energetická zařízení pro dosažení vyšší výkonnosti a naopak ke snižování množství vznikajících škodlivých látek unikajících do ovzduší. Stejně tak je snaha o zvýšení podílu obnovitelných zdrojů energie na výrobě elektrické energie, a tedy omezení spotřeby fosilních paliv, které nejsou tak šetrné k životnímu prostředí. Pokud by nedošlo ke snížení spotřeby fosilních paliv, v rozmezí několika desítek let by mohlo dojít k vyčerpání tohoto zdroje. Jednou z možností využití obnovitelných zdrojů je tepelné čerpadlo, které využívá jako zdroj energie nízkopotenciální teplo obsažené ve vzduchu, zemi, povrchové či podzemní vodě. Z důvodu možnosti využít studnu nacházející se na pozemku zvoleného objektu jako zdroje nízkopotenciálního tepla, jsem se rozhodl pro volbu tepelného čerpadla voda-voda.

Kromě ekologických výhod však tepelná čerpadla nabízejí snížení nákladů na výrobu tepla k vytápění a ohřev TUV. Náklady na tepelnou energii takto mohou klesnout až na čtvrtinu, v závislosti na velikosti topného faktoru, který značí poměr tepelného výkonu získaného přeměnou z nízkopotenciálního zdroje energie k celkovému příkonu jednotlivých složek.

Cílem této práce je provést návrh tepelného čerpadla, které by plně nahradilo stávající plynový kotel. Práce obsahuje popis rodinného domu, pro který tepelné čerpadlo navrhuji, výpočet tepelných ztrát domu a celkové spotřeby tepla na vytápění a ohřev teplé užitkové vody během roku, na základě čehož jsem pak navrhnul jednotlivé části tepelného čerpadla a celého otopného systému domu. V závěru práce jsem poté provedl ekonomické srovnání provozu stávajícího plynového kotle a nákladů na pořízení a provoz navrženého topného systému, a také srovnání vlivu obou složek na životní prostředí.

## 2. Základní informace o rodinném domě

Dům, pro který navrhují tepelné čerpadlo, se nachází ve městě Štramberk v nadmořské výšce 415 m.n.m. Jedná se o nepodsklepený dvoupodlažní dům s neobydlenými půdními prostory. Dům je obydlen čtyřčlennou rodinou a pro zajištění tepelné pohody je použito teplovodní vytápění s nuceným oběhem a teplotním spádem 50/30 °C. Výrobu tepla na vytápění a ohřev TUV zajišťuje plynový kotel o výkonu 10 kW. Tepelné ztráty jsou stanoveny dle ČSN 02 0610 pro teplotní oblast -15 °C se zřetelem na intenzivní větry v dané oblasti.

## 3. Výpočet tepelných ztrát domu

Výpočet tepelných ztrát domu jsem provedl obálkovou metodou dle normy ČSN 02 0610 a ČSN 73 0540-3:2005, přičemž jsem uvažoval pouze se sdílením tepla s okolím, sdílení tepla mezi jednotlivými místnostmi jsem zanedbal. Veškeré výpočty byly provedeny pomocí programu Microsoft Excel. Při výpočtech jsem vycházel z projektové dokumentace domu a katalogu stavebních materiálů. Jako příklad uvádím výpočet tepelné ztráty místnosti 1.01+1.02. Jde o kuchyňský kout spojený s jídelnou. Ostatní místnosti byly vypočteny stejným způsobem, viz příloha č. 1.

### 3.1 Základní tepelná ztráta

Základní tepelná ztráta prostupem tepla se rovná součtu tepelných toků prostupem tepla v ustáleném tepelném stavu jednotlivými konstrukcemi ohraničující vytápěnou místnost do venkovního prostředí. V tomto případě se jedná pouze o dvě stěny, podlahu a sokl.

Konstrukce	Délka - $L_i$ [m]	Výška - $H$ [m]	Obsah - $S$ [m <sup>2</sup> ]
Stěna východ - SV	2,7	2,68	7,236
Stěna sever - SS	6,05	2,68	16,214
Okno 1 - OK	1,2	1,3	1,56
Dveře 1 - DV	0,9	2,1	1,89
Podlaha - PO	6,05	2,7	16,335
Sokl - SO	8,75	1,3	11,375

Tabulka 3.1 – Parametry jednotlivých konstrukcí

Na základě normy ČSN 06 0210 je výpočtová vnitřní teplota  $t_i$  pro trvale vytápěnou obytnou místnost stanovena 20 °C a teplota přilehlé zeminy  $t_z$  5 °C. Jednotlivé hodnoty součinitele tepelné vodivosti  $\lambda$  a součinitele přestupu tepla  $\alpha$  jsou odečteny z normy ČSN 73 0540-3:2005 a Katalogu stavebních materiálů [7].

Prostředí	Interiér	Exteriér	Zemina
Teplota - $t_i / t_e / t_z$ [°C]	20	-15	5
Součinitel přestupu tepla - $\alpha_i / \alpha_e / \alpha_z$ [W]	8	23	23

Tabulka 3.2 – Parametry prostředí

Veškeré výpočtové vztahy pro výpočet tepelných ztrát jsou také převzaty z normy ČSN 06 0210.

### 3.1.1 Základní tepelná ztráta prostupem tepla obvodovými zdmi

Obvodové zdivo je vyžděno z cihel Porotherm 36,5 P + D, vnější povrch zdiva je omítnut vápenocementovou omítkou a vnitřní omítky provedeny jako vápenné. Celková tloušťka stěn je 0,4 m.

Materiál	Tloušťka - $l_i$ [m]	Součinitel tepelné vodivosti - $\lambda_i$ [W/m·K]
Omítka vápenná	0,02	0,88
Porotherm 36 P+D	0,36	0,174
Omítka vápenocementová	0,02	0,99

Tabulka 3.3 – Struktura obvodových zdí

Součinitel prostupu tepla obvodovými zdmi –  $k_{oz}$  [W/m<sup>2</sup>·K]

$$k_{oz} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum \frac{l_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_e}} \quad (3.1)$$

kde  $\alpha_i$  .... Součinitel přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce (interiér) [W/m<sup>2</sup>·K]

$\alpha_e$  .... Součinitel přestupu tepla na vnější straně konstrukce (exteriér) [W/m<sup>2</sup>·K]

$l_i$  .... Tloušťka materiálu i-té vrstvy [m]

$\lambda_i$  .... Součinitel tepelné vodivosti materiálu i-té vrstvy [W/m·K]

$$k_{oz} = \frac{1}{\frac{1}{8} + \frac{0,02}{0,88} + \frac{0,36}{0,174} + \frac{0,02}{0,99} + \frac{1}{23}}$$

$$k_{oz} = 0,359 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Tepelná ztráta obvodovými zdmi –  $Q_{Ooz}$  [W]

$$Q_{Ooz} = k_{oz} \cdot (S_{SV} + S_{SS} - S_{OK} - S_{DV}) \cdot (t_i - t_e) \quad (3.2)$$

kde  $S_{SV}, S_{SS}, S_{OK}, S_{DV}$  .... Obsah části stavební konstrukce [m<sup>2</sup>]

$t_i$  .... Výpočtová teplota na vnitřní straně konstrukce [°C]

$t_e$  .... Výpočtová teplota na vnější straně konstrukce [°C]

$$Q_{Ooz} = 0,359 \cdot (7,236 + 16,214 - 1,56 - 1,89) \cdot (20 - (-15))$$

$$Q_{Ooz} = 220,728 \text{ W}$$

### 3.1.2 Základní tepelná ztráta prostupem tepla okny a dveřmi

V místnosti 1.01 + 1.02 se nachází vstupní dveře a jedno okno. Dveře jsou plastové 3komorové s izolačním trojsklem a okno 5komorové s izolačním dvojsklem, oba typu Softline od firmy VEKA. Součinitel prostupu tepla  $k_{ok+dv}$  je u obou garantován výrobcem 1,2 W/m<sup>2</sup>·K, což je dle klasifikace úspornosti oken a dveří řazeno do třídy A.

Tepelná ztráta okny a dveřmi -  $Q_{Ook+dv}$  [W]

$$Q_{Ook+dv} = k_{ok+dv} \cdot (S_{OK} + S_{DV}) \cdot (t_i - t_e) \quad (3.3)$$

$$Q_{Ook+dv} = 1,2 \cdot (1,56 + 1,89) \cdot (20 - (-15))$$

$$Q_{Ook+dv} = 144,9 \text{ W}$$



### 3.1.3 Základní tepelná ztráta prostupem tepla podlahou

Podklad domu je tvořen vyrovnávacím štěrkopískovým podsypem a vrstvou betonové mazaniny překryté pásem hydroizolace a polystyrénovými deskami. Samotná podlaha je pak složena z vrstvy cementového potěru, Mirelon podložky a plovoucí podlahy Rockwool.

Materiál	Tloušťka - $l_i$ [m]	Součinitel tepelné vodivosti - $\lambda_i$ [W/m·K]
Štěrkopísek	0,25	0,7
Betonová mazanina	0,15	1,05
Hydroizolace	0,003	0,2
Polystyrénové desky	0,04	0,036
Cementový potěr	0,045	1,14
Mirelon	0,002	0,038
Plovoucí podlaha	0,01	0,04

Tabulka 3.4 – Struktura podlahy

Součinitel prostupu tepla podlahou –  $k_{po}$  [W/m<sup>2</sup>·K]

$$k_{po} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum \frac{l_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_z}} \quad (3.4)$$

$$k_{po} = \frac{1}{\frac{1}{8} + \frac{0,25}{0,7} + \frac{0,15}{1,05} + \frac{0,003}{0,2} + \frac{0,04}{0,036} + \frac{0,045}{1,14} + \frac{0,002}{0,038} + \frac{0,01}{0,04} + \frac{1}{23}}$$

$$k_{po} = 0,461 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Tepelná ztráta podlahou -  $Q_{Opo}$  [W]

$$Q_{Opo} = k_{po} \cdot S_{PO} \cdot (t_i - t_z) \quad (3.5)$$

kde  $t_z$  .... Výpočtová teplota přilehlé zeminy [°C]

$$Q_{Opo} = 0,461 \cdot 16,335 \cdot (20 - 5)$$

$$Q_{Opo} = 112,996 \text{ W}$$

### 3.1.3 Základní tepelná ztráta prostupem tepla soklem

Základové pásy domu jsou provedeny z betonu a zatepleny polystyrénovými deskami. Vnější strana soklu je pak ještě překryta cementovým potěrem. Přestože se větší část soklu nachází pod povrchem, počítám s přestupem tepla z okolí, tedy exteriéru.

Materiál	Tloušťka - $l_i$ [m]	Součinitel tepelné vodivosti - $\lambda_i$ [W/m·K]
Betonová mazanina	0,5	1,05
Polystyrénové desky	0,04	0,035
Cementový potěr	0,06	1,14

Tabulka 3.5 – Struktura soklu

Součinitel prostupu tepla soklu –  $k_{so}$  [W/m<sup>2</sup>·K]

$$k_{so} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum \frac{l_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_e}} \quad (3.6)$$

$$k_{so} = \frac{1}{\frac{1}{8} + \frac{0,5}{1,05} + \frac{0,04}{0,035} + \frac{0,06}{1,14} + \frac{1}{23}}$$

$$k_{so} = 0,543 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Tepelná ztráta soklem -  $Q_{Oso}$  [W]

$$Q_{Oso} = k_{so} \cdot S_{SO} \cdot (t_i - t_e) \quad (3.7)$$

$$Q_{Oso} = 0,543 \cdot 11,375 \cdot (20 - (-15))$$

$$Q_{Oso} = 216,354 \text{ W}$$

Základní tepelná ztráta místnosti 1.01+1.02 -  $Q_o$  [W]

$$Q_o = Q_{Ooz} + Q_{Ook+dv} + Q_{Opo} + Q_{Oso} \quad (3.8)$$

$$Q_o = 220,728 + 144,9 + 112,996 + 216,354$$

$$Q_o = 781,217 \text{ W}$$

### 3.2 Tepelná ztráta prostupem tepla

Tepelná ztráta místnosti prostupem tepla  $Q_P$  ve W, se vypočítá ze základní tepelné ztráty se zohledněním přírážek na vyrovnání vlivu chladných konstrukcí, urychlení zátoku a na světovou stranu.

Průměrný součinitel prostupu tepla -  $k_c$  [W/m<sup>2</sup>·K]

$$k_c = \frac{Q_0}{\sum S \cdot (t_i - t_e)} \quad (3.9)$$

$$\sum S = 2 \cdot (S_{SV} + S_{SS} + S_{PO})$$

kde  $\sum S$  .... Plocha všech konstrukcí ohraničujících vytápěnou místnost [m<sup>2</sup>]

$t_i$  .... Výpočtová teplota na vnitřní straně konstrukce [°C]

$t_e$  .... Výpočtová teplota na vnější straně konstrukce [°C]

$$k_c = \frac{781,217}{2 \cdot (7,236 + 16,214 + 16,335) \cdot (20 - (-15))}$$

$$k_c = 0,281 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Přírážka na vyrovnání vlivu chladných stavebních konstrukcí -  $p_1$

$$p_1 = 0,15 \cdot k_c \quad (3.10)$$

$$p_1 = 0,15 \cdot 0,281$$

$$p_1 = 0,042 \text{ W}$$

Přírážka na urychlení zátoku -  $p_2$

S touto přírážkou nepočítám, neboť předpokládám nepřerušovaný provoz.

$$p_2 = 0$$

Přírážka na světovou stranu -  $p_3$

Světová strana	J	JZ	Z	SZ	S	SV	V	JV
Přírážka $p_3$	-0,05	0	0	0,05	0,1	0,05	0,05	0

Tabulka 3.6 – Hodnoty přírážek na světovou stranu

Výši přírážky volím dle nejvíce ochlazované stavební konstrukce, což v případě místnosti 1.01+1.02 je severní stěna.

$$p_3 = 0,1$$

Tepelná ztráta prostupem tepla místnosti –  $Q_P$  [W]

$$Q_P = Q_O \cdot (1 + p_1 + p_2 + p_3) \quad (3.11)$$

$$Q_P = 781,217 \cdot (1 + 0,042 + 0 + 0,1)$$

$$Q_P = 892,21 \text{ W}$$

### 3.3 Tepelná ztráta větráním

Charakteristické číslo budovy  $B$  a charakteristické číslo místnosti  $M$  jsem volil na základě normy ČSN 06 0210. Součinitele průvzdušnosti oken a dveří  $i_{LV}$  jsem použil z údajů garantovaných výrobcem [4].

Objemový tok větracího vzduchu při přirozeném větrání –  $V_{vP}$  [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

$$V_{vP} = \sum (i_{LV} \cdot L) \cdot B \cdot M \quad (3.12)$$

kde  $\Sigma(i_{LV} \cdot L)$  .... Součet průvzdušnosti oken a venkovních dveří místnosti [ $\text{m}^3/\text{s} \cdot \text{Pa}^{0,67}$ ]

$i_{LV}$  .... Součinitel spárové průvzdušnosti [ $\text{m}^2/\text{s} \cdot \text{Pa}^{0,67}$ ]

$L$  .... Délka spár otevíratelných částí oken a venkovních dveří [m]

$B$  .... Charakteristické číslo budovy [ $\text{Pa}^{0,67}$ ]

$M$  .... Charakteristické číslo místnosti [-]

Místnost 1.01+1.02	Okno 1	Dveře 1
Délka spáry - $L$ [m]	5	6
Součinitel spárové průvzdušnosti - $i_{LV}$ [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} / \text{m} \cdot \text{Pa}^{0,67}$ ]	0,00014	0,00014
Charakteristické číslo budovy - $B$ [ $\text{Pa}^{0,67}$ ]	8	
Charakteristické číslo místnosti - $M$ [-]	0,7	

Tabulka 3.7 – Parametry oken a venkovních dveří

$$V_{vP} = (5 \cdot 0,00014 + 6 \cdot 0,00014) \cdot 8 \cdot 0,7$$

$$V_{vP} = 0,0086 \text{ m}^3/\text{s}$$

Objemový tok větracího vzduchu z hygienických a technických požadavků –  $V_{vH}$  [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

Potřebná intenzita výměny vzduchu byla volena na základě vyhlášky č. 291/2001 Sb. Ministerstva průmyslu a obchodu[5].

$$V_{vH} = \frac{n_h}{3600} \cdot V_m \quad (3.13)$$

kde  $V_m$  .... Vnitřní objem místností [ $\text{m}^3$ ]

$n_h$  .... Potřeba intenzity výměny vzduchu [ $\text{h}^{-1}$ ]

Místnost 1.01+1.02	
Objem místnosti - $V_m$ [ $\text{m}^3$ ]	39,204
Potřebná intenzita výměny vzduchu - $n_h$ [ $\text{h}^{-1}$ ]	0,5

Tabulka 3.8 – Hodnoty pro výměnu vzduchu v místnosti

$$V_{vH} = \frac{0,5}{3600} \cdot 39,204$$

$$V_{vH} = 0,0054 \text{ m}^3/\text{s}$$

Srovnání objemových toků větracího vzduchu

Pro výpočet tepelné ztráty větráním volím větší z hodnot objemových toků.

$$V_{vP} = 0,0086 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V_{vH} = 0,0054 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V_{vP} > V_{vH}$$

Tepelná ztráta prostoru větráním –  $Q_v$  [W]

$$Q_v = 1300 \cdot V_v \cdot (t_i - t_e) \quad (3.14)$$

kde  $c_v$  .... Objemová tepelná kapacita vzduchu –  $c_v = 1300$  [J/m<sup>3</sup>·K]

$V_v$  .... Objemový tok větracího vzduchu – větší z hodnot  $V_{vP}$  a  $V_{vH}$  [h<sup>-1</sup>]

$$Q_v = 1300 \cdot 0,0086 \cdot (20 - (-15))$$

$$Q_v = 392,392 \text{ W}$$

### 3.4 Tepelné zisky

V místnosti se nenachází žádný trvalý zdroj tepla, proto trvalé tepelné zisky neberu v úvahu.

$$Q_z = 0 \text{ W}$$

### 3.5 Celková tepelná ztráta místnosti 1.01+1.02

Celková tepelná ztráta místnosti se rovná součtu tepelné ztráty prostupem tepla konstrukcemi a tepelné ztráty větráním snižená o trvalé tepelné zisky.

$$Q_c = Q_p + Q_v - Q_z \quad (3.15)$$

$$Q_c = 892,21 + 392,392 - 0$$

$$Q_c = 1284,602 \text{ W}$$

### 3.6 Celková tepelná ztráta domu

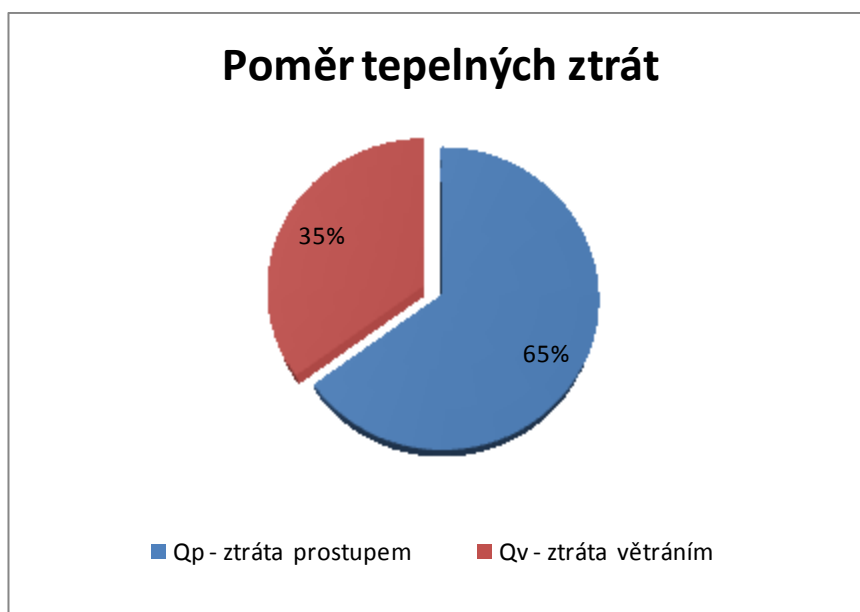
Celková tepelná ztráta domu je součtem výpočtů celkových tepelných ztrát jednotlivých místností. Celková tepelná ztráta činí 6590,32 W, což přibližně odpovídá i původní návrhové dokumentaci domu, která počítá s maximální celkovou ztrátou 7000 W.

Celková tepelná ztráta prostupem tepla všech místností

$$\sum Q_p = 4283,82 \text{ W}$$

Celková tepelná ztráta větráním všech místností

$$\sum Q_v = 2306,50 \text{ W}$$



Graf 3.1 – Poměr tepelných ztrát domu

## 4. Spotřeba tepla

Celková spotřeba tepla budovy se skládá ze spotřeby tepla na pokrytí tepelných ztrát celého domu a tepla potřebného pro přípravu teplé vody (TV). Teplá voda bude předehřívána pomocí tepelného čerpadla (TČ) a dohřívána v zásobníku TV na požadovanou teplotu  $t_p$ , která je 60 °C.

### 4.1 Spotřeba tepla na pokrytí tepelných ztrát objektu

Roční spotřebu tepla určíme na základě průměrných teplot v otopném období pro danou oblast stanovených na základě průměru z posledních 50 let [6].

Měsíc	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V
Počet dní v měsíci s průměrnou teplotou - $d_i$ [-]	15	31	30	31	31	28	31	30	15
Vnější výpočtová teplota - $t_{es,i}$ [°C]	13,3	8,2	3,2	-0,4	-2,6	-1,3	2,9	7,7	12,8

Tabulka 4.1 – Průměrná teplota v otopném období

Celkový počet dní otopného období

$$d_c = \sum d_i \quad (4.1)$$

$$d_c = 242 \text{ dní}$$

Roční potřeba tepla na vytápění

$$Q_{T,Wh/rok} = \sum Q_{C,RD} \cdot d_i \cdot 24 \cdot \frac{(t_{ip} - t_{es,i})}{(t_{ip} - t_e)} \quad (4.2)$$

$$E_{T,J/rok} = 3600 \cdot Q_{T,Wh/rok} \quad (4.3)$$

kde  $Q_{C,RD} \dots$  Tepelná ztráta rodinného domu [W]

$d_i \dots$  Počet dní v měsíci s průměrnou teplotou  $t_{es,i}$  [-]

$t_{ip} \dots$  Průměrná teplota v objektu vztažená na obytnou plochu [°C]

$t_{es,i} \dots$  Průměrná venkovní teplota v měsíci [°C]

$t_e \dots$  Vnější výpočtová teplota [°C]

Jako příklad uvádím výpočet pro měsíc září (IX). Ostatní měsíce byly vypočteny stejným způsobem pomocí programu Microsoft Excel.

$$Q_{T,září,Wh} = Q_{C,RD} \cdot d_{září} \cdot 24 \cdot \frac{(t_{ip} - t_{es,září})}{(t_{ip} - t_e)} \quad (4.4)$$

$$Q_{T,září,Wh} = 6600 \cdot 15 \cdot 24 \cdot \frac{(19,22 - 13,3)}{(19,22 - (-15))}$$

$$Q_{T,září,Wh} = 411043,83 \text{ Wh} = 0,41 \text{ MWh}$$

$$E_{T,září,J} = 3600 \cdot Q_{T,září,Wh} \quad (4.5)$$

$$E_{T,září,J} = 3600 \cdot 411043,83$$

$$E_{T,září,J} = 1479757,802 \text{ J} = 1,48 \text{ GJ}$$



Měsíc	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V
$Q_{Ti,Wh} - [MWh]$	0,41	1,581	2,225	2,815	3,131	2,66	2,342	1,6	0,446
$E_{Ti} - [GJ]$	1,48	5,693	8,009	10,14	11,27	9,574	8,431	5,759	1,605

Tabulka 4.2 – Potřeba tepla pro jednotlivé měsíce

$$Q_{T,Wh/rok} = \sum Q_{Ti,Wh}$$

$$Q_{T,Wh/rok} = 17210331,27 \text{ Wh/rok} = 17,2 \text{ MWh/rok} \quad (4.6)$$

$$E_{T,J/rok} = 3600 \cdot 17210331,27$$

$$E_{T,J/rok} = 61957192566 \text{ J/rok} = 61,96 \text{ GJ/rok}$$

## 4.2 Potřeba tepla pro předehřev TV

Množství tepla potřebné pro předehřev vody pomocí TČ. (4.9)

$$E_{\text{předehřev,rok}} = V_{TV} \cdot \rho_{TV} \cdot c_{p,TV} \cdot (t_{v1} - t_{v2}) \quad (4.7)$$

$$Q_{\text{předehřev,rok}} = \frac{E_{\text{předehřev,rok}}}{3600} \quad (4.8)$$

$$P_{\text{předehřev}} = \frac{V_{TV,d} \cdot \rho_{TV} \cdot c_{p,TV} \cdot (t_{v1} - t_{v2})}{\tau} \quad (4.9)$$

kde $V_{TV}$ ....	potřebný objem TV za rok	$[m^3]$
$V_{TV,D}$ ....	potřebný objem TV za den	$[m^3]$
$\rho_{TV}$ ....	hustota TV	$[kg/m^3]$
$c_{p,TV}$ ....	měrná tepelná kapacita TV	$[kJ/kgK]$
$t_{v,1}$ ....	teplota předehřáté TV pomocí TČ	$[^{\circ}C]$
$t_{v,2}$ ....	původní teplota vody na vstupu do zásobníku	$[^{\circ}C]$
$\tau$ ....	doba potřebná pro předehřev vody	$[h]$

Průměrná teplota vody na vstupu do zásobníku

$$t_{v2} = 10 \text{ } ^{\circ}C$$

Teplota vody, na kterou bude TČ předehtřívát

$$t_{v1} = 35 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Hustota vody pro střední teplotu a měrná tepelná kapacita vody jsou určeny pomocí programu EES

$$t_{stř,TV} = \frac{(t_{v1} + t_{v2})}{2} \quad (4.10)$$

$$t_{stř,TV} = \frac{(35 + 10)}{2}$$

$$t_{stř,TV} = 22,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\rho_{TV} = 998 \text{ kg/m}^3$$

$$c_{p,TV} = 4183 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$$

Dobu potřebnou pro předehtřátí potřebného objemu vody volím

$$\tau = 6 \text{ h}$$

Potřebný objem TV určím dle počtu osob žijících v domě a předpokládané spotřeby vody na osobu a den

$$V_{TV} = 365 \cdot n_{os} \cdot V_{os,d} \quad (4.11)$$

$$V_{TV,d} = n_{os} \cdot V_{os,d} \quad (4.12)$$

kde 365.... počet dní v roce [-]

$n_{os}$ .... počet osob v domácnosti [-]

$V_{os,d}$ .... množství vody na osobu a den [ $\text{m}^3/(\text{osobu} \cdot \text{den})$ ]

Množství vody spotřebované na osobu za den volím

$$V_{os,d} = 0,082 \text{ m}^3/(\text{osobu} \cdot \text{den}) [7]$$

$$V_{TV} = 365 \cdot 4 \cdot 0,082$$

$$V_{TV} = 119,72 \text{ m}^3/\text{rok}$$

$$V_{TV,d} = 4 \cdot 0,082$$

$$V_{TV,d} = 0,328 \text{ m}^3/\text{den}$$

Množství energie potřebné pro předehřev vody pomocí TČ

$$E_{\text{předehřev,rok}} = 119,72 \cdot 998 \cdot 4183 \cdot (35 - 10)$$

$$E_{\text{předehřev,rok}} = 1,25 \cdot 10^{10} \text{ J/rok} = 12,5 \text{ GJ/rok}$$

$$Q_{\text{předehřev,rok}} = \frac{1,25 \cdot 10^{10}}{3600}$$

$$Q_{\text{předehřev,rok}} = 3470744,323 \text{ Wh/rok} = 3,471 \text{ MWh/rok}$$

$$Q_{\text{předehřev,den}} = \frac{Q_{\text{předehřev,rok}}}{365} \quad (4.13)$$

$$Q_{\text{předehřev,den}} = \frac{3470744,323}{365}$$

$$Q_{\text{předehřev,den}} = 9508,89 \text{ Wh/den}$$

$$P_{\text{předehřev}} = \frac{0,328 \cdot 998 \cdot 4183 \cdot (35 - 10)}{6 \cdot 3600}$$

$$P_{\text{předehřev}} = 1584,815 \text{ W}$$

**4.3 Potřeba tepla pro dohřev TV**

Teplo nutné pro dohřev TV na požadovanou teplotu.

$$Q_{\text{dohřev,den}} = \frac{V_{VT,d} \cdot \rho_{TV,dohřev} \cdot c_{p,dohřev} \cdot (t_p - t_{v1})}{3600} \quad (4.14)$$

$$Q_{\text{dohřev,rok}} = 365 \cdot Q_{\text{dohřev,den}} \quad (4.15)$$

$$E_{\text{dohřev,rok}} = 3600 \cdot Q_{\text{dohřev,rok}} \quad (4.16)$$

kde  $\rho_{TV,dohřev}$  .... hustota TV pro střední teplotu při dohřevu [kg/m<sup>3</sup>]

$c_{p,dohřev}$  .... měrná tepelná kapacita TV při dohřevu [J/kgK]

$t_p$  .... požadovaná teplota TV [°C]

Požadovaná teplota TV

$$t_p = 60 \text{ °C}$$

Hustota vody pro střední teplotu dohřevu a měrná tepelná kapacita vody určena pomocí programu EES

$$t_{stř,dohřev} = \frac{(t_p + t_{v1})}{2} \quad (4.17)$$

$$t_{stř,dohřev} = \frac{(60 + 35)}{2}$$

$$t_{stř,dohřev} = 47,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\rho_{TV,dohřev} = 989 \text{ kg/m}^3$$

$$c_{p,dohřev} = 4181 \text{ J/kg} \cdot K$$

Výpočet tepla potřebného pro dohřev TV

$$Q_{dohřev,den} = \frac{0,328 \cdot 989 \cdot 4181 \cdot (60 - 35)}{3600}$$

$$Q_{dohřev,den} = 9418,632 \text{ Wh/den}$$

$$Q_{dohřev,rok} = 365 \cdot 9418,632$$

$$Q_{dohřev,rok} = 3437800,68 \text{ Wh/rok} = 3,438 \text{ MWh/rok}$$

$$E_{dohřev,rok} = 3600 \cdot 3437800,68$$

$$E_{dohřev,rok} = 1,238 \cdot 10^{10} \text{ J/rok} = 12,376 \text{ GJ/rok}$$

Voda v zásobníku TV bude dohřívána pomocí elektrického topného tělesa. Jehož potřebný výkon je nutno stanovit.

Výkon elektrického topného tělesa

$$P_{el} = \frac{Q_{dohřev,den}}{\tau} \quad (4.18)$$

$$P_{el} = \frac{9418,632}{6}$$

$$P_{el} = 1569,772 \text{ W}$$

Volím zásobník TV o objemu 200 litrů, přičemž topné těleso by za výše uvedených podmínek nahřálo celý objem zásobníku za čas  $\tau_c$ .

(4.19)

$$\tau_c = \frac{V_{\text{zásobník},TV} \cdot \rho_{\text{zásobník},TV} \cdot c_{p,\text{zásobník},TV} \cdot (t_p - t_{v2})}{3600 \cdot P_{el,\text{zásobník},TV}}$$

kde  $V_{\text{zásobník},TV}$  .... objem zvoleného zásobníku [m<sup>3</sup>]

$\rho_{\text{zásobník},TV}$  .... hustota TV v zásobníku pro střední teplotu vody v zásobníku [kg/m<sup>3</sup>]

$c_{p,\text{zásobník},TV}$  .... měrná tepelná kapacita TV v zásobníku pro střední teplotu vody v  
zásobníku [kJ/kgK]

$P_{el}$  .... výkon elektrického topného tělesa [kW]

Objem zvoleného zásobníku TV

$$V_{\text{zásobník},TV} = 200 \text{ l} = 0,2 \text{ m}^3$$

Hustotu vody pro střední teplotu vody v zásobníku a měrnou tepelnou kapacitu vody jsem určil pomocí programu EES.

$$t_{stř,\text{zásobník},TV} = \frac{(t_p + t_{v2})}{2} \tag{4.20}$$

$$t_{stř,\text{zásobník},TV} = \frac{(60 + 10)}{2}$$

$$t_{stř,\text{zásobník},TV} = 35 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\rho_{\text{zásobník},TV} = 994 \text{ kg/m}^3$$

$$c_{p,\text{zásobník},TV} = 4,183 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$$

$$\tau_c = \frac{0,2 \cdot 994 \cdot 4183 \cdot (60 - 10)}{3600 \cdot 1570}$$

$$\tau_c = 7,36 \text{ hod}$$

## 4.4 Celková spotřeba tepla

Celkovou spotřebu tepla získám sečtením potřeb tepla na pokrytí tepelných ztrát objektu a tepla na přípravu TV.

$$Q_{CT} = Q_{T,Wh/rok} + Q_{přehřev,rok} + Q_{dohřev,rok} \quad (4.21)$$

$$Q_{CT} = 17,2 + 3,471 + 3,438$$

$$Q_{CT} = 24,109 \text{ MWh/rok}$$

$$E_{CT} = E_{T,J/rok} + E_{přehřev,rok} + E_{dohřev,rok} \quad (4.22)$$

$$E_{CT} = 61,96 + 12,5 + 12,376$$

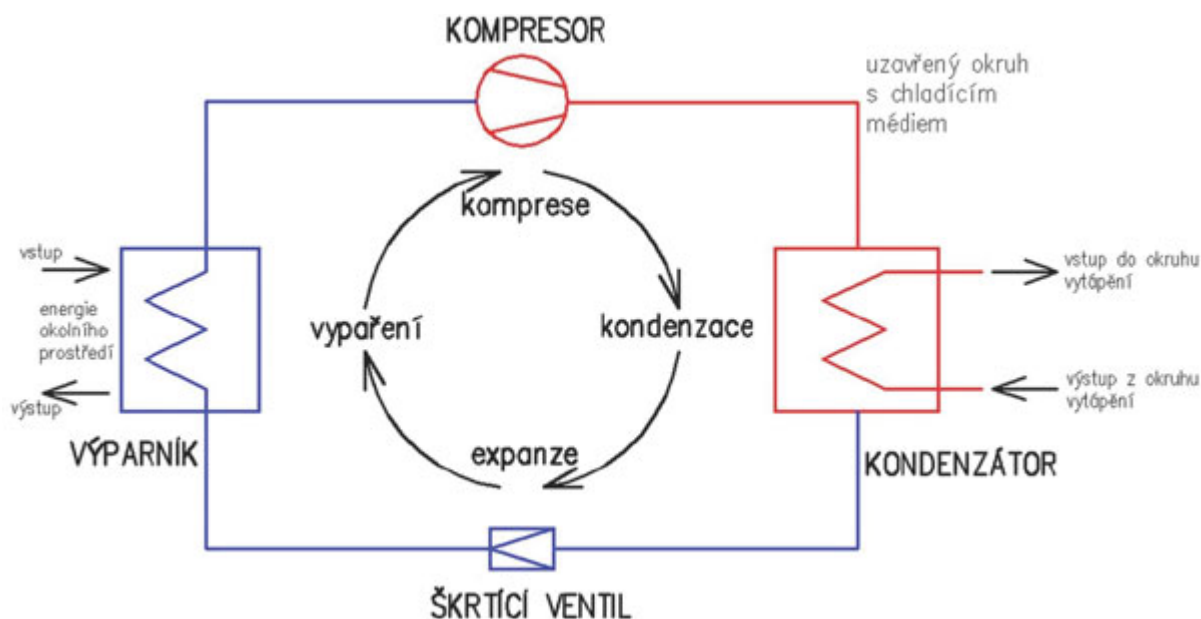
$$E_{CT} = 86,836 \text{ GJ/rok}$$

## 5. Tepelné čerpadlo

### 5.1 Princip tepelného čerpadla

Tepelné čerpadlo (dále jen TČ) je zařízení využívající energii z nízkopotenciálních zdrojů o poměrně nízké teplotě, jako je země, voda nebo vzduch, na převedení do užitečnější podoby, kterou při vyšších teplotě pak dodává do topného systému.

Na primární straně čerpadla, ve výparníku, dochází k odvodu tepla z prostředí, které zahřívá chladivo, což je látka neustále kolující v celém systému a měnící své skupenství dle termodynamických změn. Zahřátím chladiva dojde k jeho odpaření a následnému nasátí vzniklých par do kompresoru, kde jsou tyto páry stlačeny, což ještě navýší jejich teplotu. Stlačená pára poté odchází do kondenzátoru, kde předává teplo do prostředí s nižší teplotou, kterým je studená voda v topném systému, čímž ji ohřívá a sama kondenzuje. Pohyb kapalného chladiva z kondenzátoru znovu do výparníku je pak zajištěn pomocí expanzního (škrťacího) ventilu.



Obr. 5.1 – Schéma tepelného čerpadla

Tepelné čerpadlo ke svému provozu spotřebuje určité množství energie, obvykle elektrické pro pohánění kompresoru. Energie odebraná z prostředí však bývá několikanásobně vyšší než spotřeba elektrické energie. Poměr dodané a vyrobené energie nazýváme topný faktor, který je základním měřítkem pro účinnost čerpadla. Dle provozních podmínek a druhu čerpadla se jeho velikost pohybuje v rozmezí 2-5.

## 5.2 Dělení tepelných čerpadel

Tepelná čerpadla rozlišujeme především dle zdroje odebíraného nízkopotenciálního tepla a také dle média v topném okruhu, do kterého předáváme energii. Z názvů těchto dvou složek se pak skládají jednotlivé skupiny čerpadel jako např. voda-voda, kdy je zdrojem energie povrchová či podzemní voda a médium v topném oběhu je voda.

### 5.2.1 Zdroj tepla - zemní kolektory (země-voda)

Nízkopotenciální teplo ze země se zpravidla využívá nepřímo použitím podzemních kolektorů, které přenáší teplo pomocí vhodného teplotnosného média do výparníku. Teplotnosné médium, jehož oběh provádí oběhové čerpadlo, kolující v cirkulačním oběhu musí být nemrzoucí a ekologicky nezávadné. Kolektory bývají nejčastěji provedeny z PE hadic ukládaných do země buď ve vodorovné nebo vertikální poloze.

### Horizontální výkopový a plošný kolektor

Umisťuje se do hloubky 1,5-2m a používá se spíše při nižších výkonech.

Výkopový kolektor tvoří úzké výkopy s roztečí zhruba 1m, do kterých je vložen had z trubek, jehož délka je shodná s délkou výkopu.

Plošný kolektor tvoří had položený s malou roztečí na dno výkopu širokého zhruba 1m, přičemž délka trubkového systému je podstatně delší než délka výkopu.

### Vertikální kolektor

Vrty jsou prováděny až do hloubky 150m a využívají se především pro dosažení velkých výkonů. Do vrtu jsou poté vloženy trubní smyčky. Aby nedocházelo k zamrznutí vodovodní přípojky či porušení systému, je nutno pro výběr místa pro použití zemních kolektorů zohlednit také případné promrzání půdy.



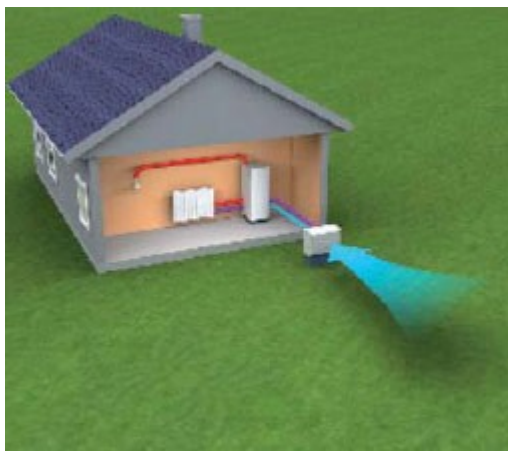
Obr. 5.2 – Tepelné čerpadlo zěme-voda

#### **5.2.2 Zdroj tepla – vzduch (vzduch-voda)**

Nejvyužívanějším a také nejlevnějším způsobem získávání nízkopotenciálního tepla je nasávání vzduchu, zpravidla venkovního. Vzduch je ventilátorem vháněn rovnou do výparníku, kde předává své teplo do topného systému. Tyto tepelná čerpadla jsou nejsnadněji využitelná, neboť nevyžadují terénní úpravy či speciální podmínky a čerpadlo lze umístit prakticky kamkoliv. Nevýhodou tohoto druhu čerpadla je proměnlivá teplota vzduchu během roku způsobující snížení výkonu tepelného čerpadla. Je proto nutno k tomuto čerpadlu mít i bivalentní zdroj na doplnění chybějícího tepla.



Je ale také možnost využívat odpadní vzduch odváděný větracím systémem objektu. Nevýhodou však je, že k dispozici je pouze omezené množství vzduchu a toto čerpadlo nelze využívat jako hlavní zdroj tepla.



Obr. 5.3 – Tepelné čerpadlo vzduch-voda

### 5.3.3 Zdroj tepla - podpovrchová voda (voda-voda)

Teplo obsažené v podzemní vodě má výhodu celoročně stálé teploty, pohybující se v rozmezí  $+8^{\circ}\text{C}$  až  $+10^{\circ}\text{C}$  a při splnění požadavků na množství látek obsažených ve vodě je možno tuto vodu použít přímo ve výparníku tepelného čerpadla. Voda je odebírána ze studny a po průchodu výparníkem vracena zpět do podzemních vod, proto je nutné vybudovat dvě studny. První je sací, druhá vsakovací, přičemž uspořádání studní musí být takové, aby směr proudu podzemní vody byl od sací studny ke vsakovací, vzdálenost mezi studněmi by měla být minimálně 10m a podloží schopné vodu trvale přijímat. Vypouštění použité podzemní vody po projití systémem do povrchových vod by z ekologického hlediska znamenalo změnu jejího charakteru a její znehodnocení.

Důležitým faktorem pro výběr tohoto druhu čerpadla je dostatečná vydatnost podzemní vody, která se zjišťuje hydrogeologickým měřením pomocí čerpací zkoušky. Ze studny se po dobu 14. dnů odčerpává voda potřebnou rychlostí pomocí ponorného čerpadla. Jestliže se studna nevyčerpá a nedojde ani k ovlivnění hladiny sousedních studní, je možné zde používat tepelné čerpadlo. Pro vybudování studny je pak potřeba stavební povolení a povolení vodoprávní, k odběru vody. Ta vydává příslušný stavební a vodoprávní úřad. Náklady na vykopání 1m se pohybují v rozmezí 1500 až 3000 Kč a hloubka studny bývá 10 až 30m.



Obr. 5.4 – Tepelné čerpadlo podpovrchová voda-voda

#### 5.2.4 Zdroj tepla - povrchová voda (voda-voda)

Stejně jako podzemní voda, by povrchová voda z potoků, řek a rybníků měla splňovat požadavky na množství vody a její složení a čistotu. Důležitou roli hraje především teplota vody, která je během roku v porovnání s podpovrchovou vodou proměnlivější, zvláště pak v zimních měsících, kdy teplota může klesnout i pod 4°C, což je minimální využitelná teplota běžných čerpadel. Velmi nízká teplota pak může vést k namrznutí kolektoru a snížení topného faktoru čerpadla. K odběru vody pro tepelné čerpadlo je nutné si vyřídít povolení majitele či povodí.

Nejčastějším způsobem pro získávání tepla z tekoucích i stojatých vod je podvodní kolektor, podobný jako u kolektorů ukládaných do země. U tohoto způsobu není kladen takový důraz na čistotu vody, neboť voda nepřichází do přímého kontaktu s výparníkem a nedochází tak k jeho zanášení nečistotami. Při použití ve stojatých vodách se kolektor pokládá na dno rybníka. U malých vodních ploch je však riziko, že dojde vlivem odběru tepla ke snížení teploty vody, což může negativně ovlivnit organismy žijící ve vodě.

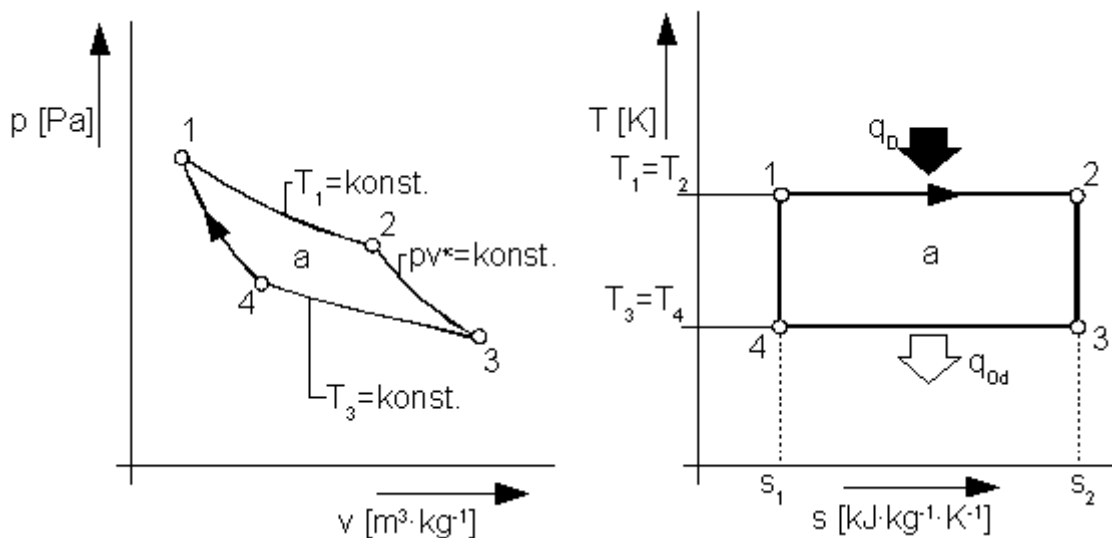
Pro tepelná čerpadla je momentálně povrchová voda nejméně využívaným zdrojem nízkopotenciálního tepla, jednak pro složitou instalaci kolektorů, ale především pro nedostatek vhodných lokalit, ať už z důvodu požadavků na množství či složení vody nebo pro přílišnou vzdálenost od vodního zdroje.



Obr. 5.5 – Tepelné čerpadlo povrchová voda-voda

## 5.4 Pracovní cyklus tepelného čerpadla

Ideální pracovní cyklus pro tepelné čerpadlo se nazývá Carnotův cyklus, což je ideální vratný oběh s nejvyšší účinností mezi dvěma teplotami. Celý oběh se skládá ze dvou izotermických a dvou adiabatických dějů. Účinnost tohoto oběhu nezávisí na pracovní látce, pouze na teplotě.



Obr. 5.6 – Carnotův cyklus

Carnotův cyklus se skládá z těchto fází

- 1 – 2 => Izotermická expanze – plyn se rozpíná a tím koná práci na úkor přivedeného tepla
- 2 – 3 => Adiabatická expanze – dochází ke snížení vnitřní energie a poklesu teploty plynu, přičemž nedochází k výměně tepla s okolím
- 3 – 4 => Izotermická komprese – stlačováním plynu se koná práce, které se odvádí do okolí ve formě tepla
- 4 – 1 => Adiabatická komprese – při stlačování nedochází k výměně tepla s okolím, dodaná práce zvyšuje vnitřní energii plynu
- => Plocha ohraničená body 1-2-S<sub>2</sub>-S<sub>1</sub> znázorňuje množství tepla přivedené do systému ( $q_D$ ). U tepelného čerpadla tedy teplo získané z nízkopotenciálního zdroje.
- => Plocha mezi body 1-2-3-4 znázorňuje množství tepla převedeného v čerpadle na mechanickou práci ( $a$ ).
- => Plocha mezi 4-3-S<sub>2</sub>-S<sub>1</sub> pak udává odvedené teplo ( $q_{OD}$ ), čili množství tepla předaného do topného systému.

Poměr mezi odevzaným teplem a spotřebovanou energií nám pak udává topný faktor  $\epsilon$ , který nám říká, kolikrát větší množství tepla jsme vyprodukovali oproti množství tepla dodaného na provoz TČ. Jeho obvyklá hodnota se pohybuje v rozmezí 2 – 5 a je závislá především na vstupní a výstupní teplotě a také typu kompresoru.

## 6. Návrh systému pro vytápění a přípravu TUV

Při návrhu tepelného čerpadla jako hlavního zdroje pro výrobu tepla k vytápění domu a přípravu TUV vycházím z výpočtu tepelných ztrát domu, celkové spotřeby tepla a požadavků majitele, který plánuje plně nahradit stávající plynový kotel o výkonu 10kW za tepelné čerpadlo. Výkon čerpadla ovlivňuje především vstupní teplota ze zdroje nízkopotenciálního tepla, požadovaná teplota topné vody na výstupu.

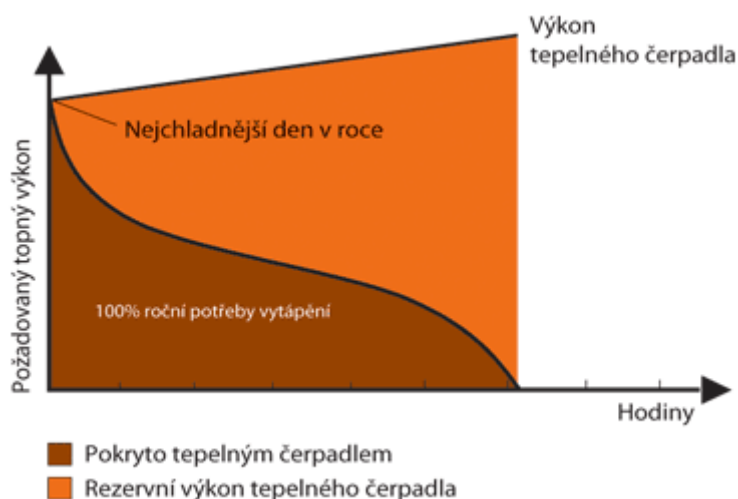
Na pozemku je již vybudována studna, kde čerpací zkouškou byla naměřena vydatnost 2,5m<sup>3</sup>/h, přičemž teplota spodní vody je během roku relativně stálá a pohybuje se kolem 10°C. Druhá studna je vzdálena zhruba 20m od domu a po domluvě s majitelem je možno ji využít jako vsakovací. Proto volím TČ voda-voda. Maximální teplota topné vody na výstupu z TČ je 50°C, topné zařízení jsou dimenzovány na 60°C.

## 6.1 Stanovení bivalentního provozu

Před volbou otopné soustavy je nutno se rozhodnout, do jaké míry by mělo TČ pokrývat tepelnou ztrátu objektu a pokud by výkon nestačil k plnému pokrytí ztrát, zajistit dostatečný bivalentní zdroj.

### 6.1.1 Monovalentní provoz

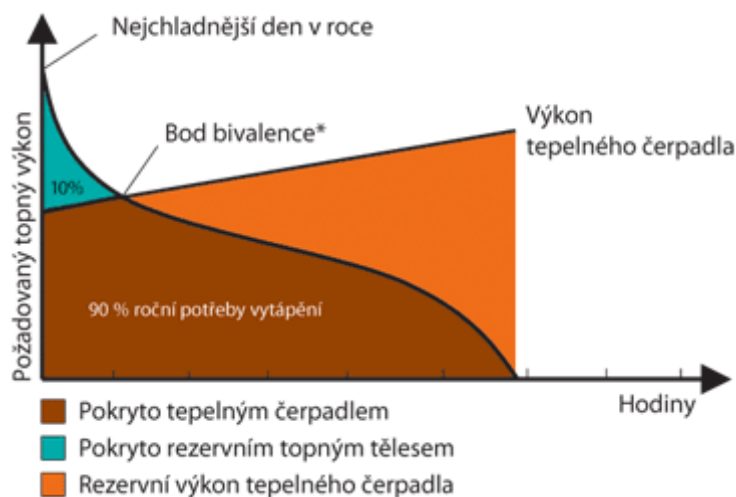
Tepelné čerpadlo je jediným vytápěcím zařízením v objektu. Výkon TČ je navržen tak, aby byl schopen pokrýt celou spotřebu tepla, jak na vytápění, tak na ohřev TUV. Tento způsob provozu se používá pro nízkoteplotní vytápění s maximální teplotou topné vody 60°C. Aby bylo zajištěno úplné tepelné pokrytí i při nejnižších teplotách, navyšuje se výkon čerpadla o cca 50% oproti bivalentnímu provozu.



Obr. 6.1 - Monovalentní provoz TČ

### 6.1.2 Paralelně bivalentní provoz

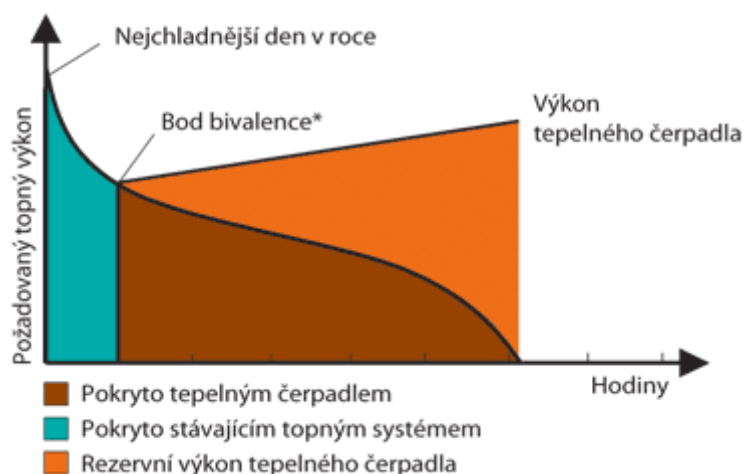
Převážnou část otopného období je potřebný topný výkon nižší než výpočtový, proto se používá bivalentní zapojení. TČ se dimenzuje na 60 – 70% výpočtového topného výkonu, kdy čerpadlo pokrývá 90 – 95% roční spotřeby tepla, zbývajících 5 – 10% pak doplňkový zdroj tepla, nejčastěji elektrický dohřívač. Při venkovní teplotě, kdy se topný výkon čerpadla rovná tepelné ztrátě objektu se nachází bod bivalence. Pod touto teplotou již musí být TČ doplněno dalším zdrojem tepla.



Obr. 6.2 – Paralelně bivalentní provoz TČ

### 6.1.3 Alternativně bivalentní provoz

Systém kombinuje dva nezávislé zdroje tepla. Do předem stanovené teploty vzduchu potřebu tepla pokrývá pouze TČ. Pokud poklesne teplota pod tuto hodnotu (bod bivalence), čerpadlo se vypne a celou výrobu tepla přebírá bivalentní zdroj, například plynový kotel.



Obr. 6.3 – Alternativně bivalentní provoz TČ

## 6.2 Výpočet tepelného čerpadla

Pro domácnost používající tepelné čerpadlo k vytápění je možnost využít dvoutarifní sazbu za elektrickou energii D56d s dobou platnosti nízkého tarifu 22 hodin denně. Předpokládám tedy, že TČ bude denně dvě hodiny vypnuto, proto jsem navýšil potřebný výkon TČ založený na tepelné ztrátě objektu o hodnotu 1,091. Na požadavek majitele domu na náhradu stávajícího plynového kotle o výkonu 10 kW za tepelné čerpadlo, které by kotel plně nahradilo, volím monovalentní provoz.

Před samotným návrhem bylo nutno zvolit některé veličiny, které jsem volil na základě potřeb a možností uživatele a dostatečného dimenzování čerpadla.

Vypařovací teplota je o 3°C nižší než teplota vstupní vody.

Kondenzační teplota je o 5°C vyšší než výstupní teplota.

Volím chladivo R404A, vzhledem k jeho rozsáhlému využití v oblasti tepelných čerpadel.

Rychlosti proudění v jednotlivých částech potrubí volím z doporučeného rozmezí

- sací potrubí (mezi výparníkem a kompresorem) 8 – 12 m/s => volím 10 m/s
- výtlačné potrubí (mezi kompresorem a kondenzátorem) 8 – 14 m/s => volím 12 m/s
- kapalinové potrubí (mezi sběračem a TEV) 0,4 – 0,8 m/s => volím 0,8 m/s.

Pro návrh tepelného čerpadla jsem použil výpočet pomocí programu EES. Model výpočtu a vyhodnocená výsledková tabulka jsou uvedeny v příloze č. 2.

Vstupní veličina	Značka	Hodnota
Teplota vstupní vody	$t_{vs}$	10°C
Vypařovací teplota	$t_v$	7°C
Výstupní teplota vody	$t_{vys}$	50°C
Kondenzační teplota	$t_k$	55°C
Navrhovaný tepelný výkon čerpadla	$Q_k$	10 kW
Chladivo	R404A	
Rychlost proudění v sacím potrubí	$w_s$	10 m/s
Rychlost proudění ve výtlačném potrubí	$w_v$	12 m/s
Rychlost proudění v kapalinovém potrubí	$w_k$	0,8 m/s

Tabulka 6.1 Vstupní veličiny pro návrh TČ

Vypařovací tlak –  $p_v$  [kPa]

$$p_v = 749,7 \text{ kPa}$$

Kondenzační tlak –  $p_k$  [kPa]

$$p_k = 2587 \text{ kPa}$$

Teploty v jednotlivých bodech –  $t_i$  [°C]

$$t_1 = t_v$$

$$t_2 = 61,78 \text{ °C}$$

$$t_3 = 55,26 \text{ °C}$$

$$t_4 = t_k$$

$$t_5 = 6,733 \text{ °C}$$

Entalpie v jednotlivých bodech –  $h_i$  [kJ/kg]

$$h_1 = 221,7 \text{ kJ/kg}$$

$$h_2 = 245,5 \text{ kJ/kg}$$

$$h_3 = 234,1 \text{ kJ/kg}$$

$$h_4 = 139,4 \text{ kJ/kg}$$

$$h_5 = h_4$$

Izoentropická práce kompresoru –  $a_{ie}$  [kJ/kg]

$$a_{ie} = h_2 - h_1 \tag{6.1}$$

$$a_{ie} = 23,73 \text{ kJ/kg}$$

Měrná chladivost –  $q_{ch}$  [kJ/kg]

$$q_{ch} = h_1 - h_5 \tag{6.2}$$

$$q_{ch} = 82,29 \text{ kJ/kg}$$

Měrná topivost –  $q_t$  [kJ/kg]

$$q_t = q_{ch} + a_{ie} \tag{6.3}$$

$$q_t = 106 \text{ kJ/kg}$$



Hmotnostní průtok chladiva –  $m$  [kg/s]

$$m = \frac{Q_k}{q_t} \quad (6.4)$$

$$m = 0,09433 \text{ kg/s}$$

Hmotnostní průtok chladiva za hodinu –  $m_h$  [kg/h]

$$m_h = m \cdot 3600 \quad (6.5)$$

$$m_h = 339,6 \text{ kg/h}$$

Izoentropický příkon kompresoru –  $P_{ie}$  [kW]

$$P_{ie} = a_{ie} \cdot m \quad (6.6)$$

$$P_{ie} = 2,238 \text{ kW}$$

Topný faktor –  $\varepsilon_t$  [-]

$$\varepsilon_t = \frac{Q_k}{P_{ie}} \quad (6.7)$$

$$\varepsilon_t = 4,468$$

Chladicí výkon –  $Q_{ch}$  [kW]

$$Q_{ch} = m \cdot q_{ch} \quad (6.8)$$

$$Q_{ch} = 7,762 \text{ kW}$$

Chladicí faktor –  $\varepsilon_{ch}$  [-]

$$\varepsilon_{ch} = \frac{Q_{ch}}{P_{ie}} \quad (6.9)$$

$$\varepsilon_{ch} = 3,468$$

Kompresní poměr –  $\sigma$  [-]

$$\sigma = \frac{p_k}{p_v} \quad (6.10)$$

$$\sigma = 3,451$$

Příkon elektromotoru –  $P_{el}$  [kW]

$$P_{el} = \frac{P_{ie}}{\eta_{el}} \quad (6.11)$$

$$P_{el} = 2,356 \text{ kW}$$

Čerpací poměr –  $\varphi$  [-]

$$\varphi = \frac{\varepsilon_t}{\varepsilon_{ch}} \quad (6.12)$$

$$\varphi = 1,288$$

Tepelná bilance –  $Q_{ki}$  [kW]

- pro kondenzátor

$$Q_{k,a} = m(h_2 - h_4) \quad (6.13)$$

$$Q_{k,a} = 10 \text{ kW}$$

- pro výparník

$$Q_{k,b} = m(h_1 - h_5) \quad (6.14)$$

$$Q_{k,a} = 7,762 \text{ kW}$$

- pro celý oběh

$$Q_{k,c} = Q_{ch} + P_{ie} \quad (6.15)$$

$$Q_{k,c} = 10 \text{ kW}$$

Hustota chladiva v jednotlivých částech –  $\rho_i$  [kg/m<sup>3</sup>]

- sací potrubí (plyn)

$$\rho_s = 37,96 \text{ kg/m}^3$$

- výtlačné potrubí (plyn)

$$\rho_v = 145,2 \text{ kg/m}^3$$

- kapalinové potrubí (kapalina)

$$\rho_k = 865,4 \text{ kg/m}^3$$

Objemový průtok chladiva za hodinu –  $v$  [m<sup>3</sup>/h]

$$v_s = \frac{m_h}{\rho_s} \quad (6.16)$$

$$v_s = 8,946 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$v_v = \frac{m_h}{\rho_v} \quad (6.17)$$

$$v_v = 2,339 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$v_k = \frac{m_h}{\rho_k} \quad (6.18)$$

$$v_k = 0,3924 \text{ m}^3/\text{h}$$

Průřezy jednotlivých potrubí -  $S_i$  [mm<sup>2</sup>]

- sací potrubí

$$S_s = \frac{v_s \cdot 1000}{w_s \cdot 3,6} \quad (6.19)$$

$$S_s = 248,5 \text{ mm}^2$$

- výtlačné potrubí

$$S_v = \frac{v_v \cdot 1000}{w_v \cdot 3,6} \quad (6.20)$$

$$S_v = 54,13 \text{ mm}^2$$

- kapalinové potrubí

$$S_k = \frac{v_k \cdot 1000}{w_k \cdot 3,6} \quad (6.21)$$

$$S_k = 136,3 \text{ mm}^2$$

Vnitřní průměry trubek -  $d_i$  [mm]

- sací trubka

$$d_s = \sqrt{\frac{4 \cdot S_s}{\pi}} \quad (6.22)$$

$$d_s = 17,79 \text{ mm}$$

- výtlačná trubka

$$d_v = \sqrt{\frac{4 \cdot S_v}{\pi}} \quad (6.23)$$

$$d_v = 8,302 \text{ mm}$$

- kapalinová trubka

$$d_k = \sqrt{\frac{4 \cdot S_k}{\pi}} \quad (6.24)$$

$$d_k = 13,17 \text{ mm}$$

### Vnější průměry trubek

Při tloušťce trubek 1 mm jsou vnější průměry trubek o 2 mm větší než průměry vnitřní. Na základě vypočtených průměrů volím průměry trubek dle katalogu [9].

- sací potrubí  
 $D_s = 19,79 \text{ mm} \Rightarrow$  volím 22 mm
- výtlačné potrubí  
 $D_v = 10,302 \text{ mm} \Rightarrow$  volím 12 mm
- kapalínové potrubí  
 $D_k = 15,17 \text{ mm} \Rightarrow$  volím 18 mm

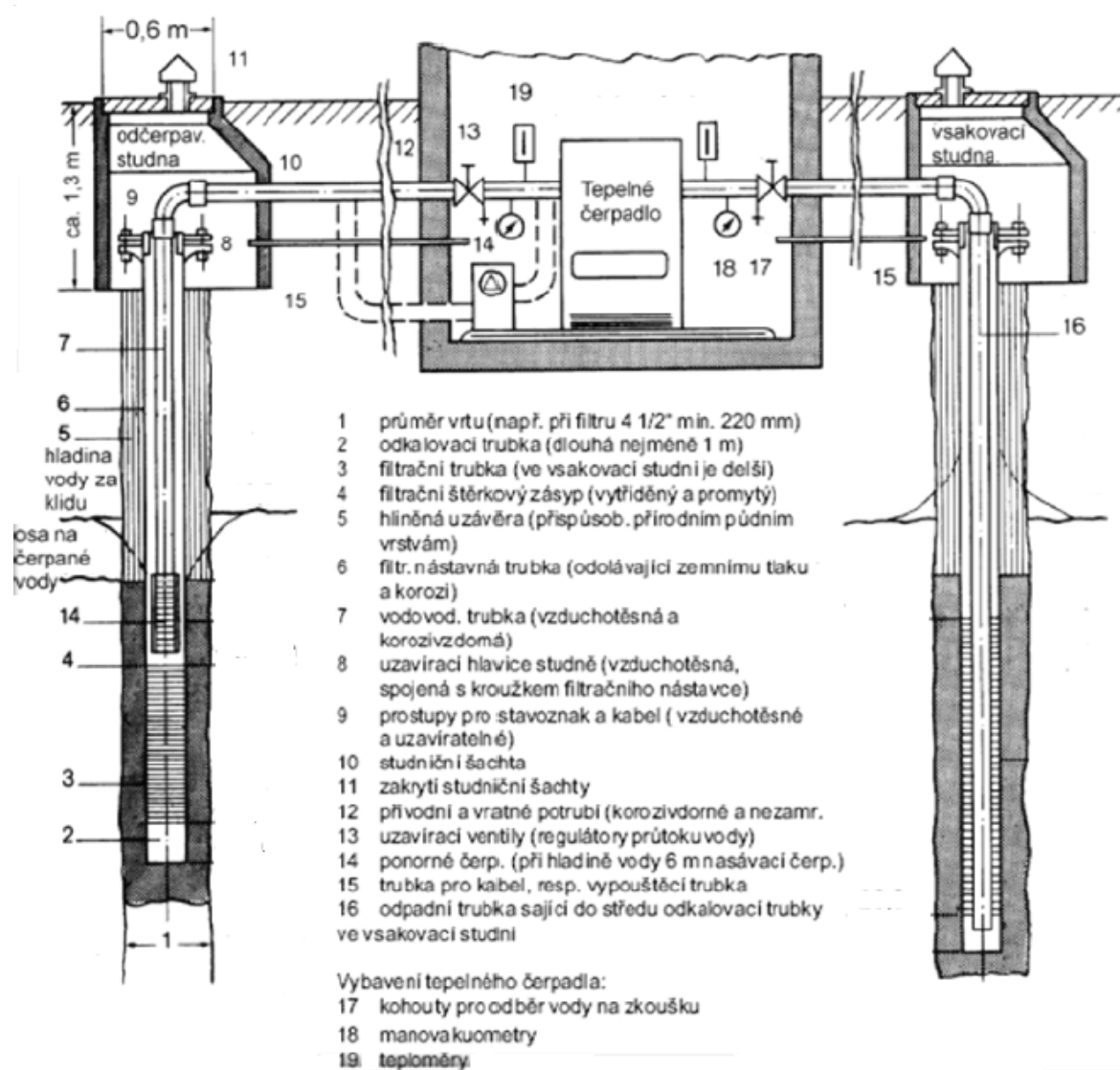
## **7. Návrh otopné soustavy**

Celou soustavu můžeme rozdělit na dílčí okruhy. Primární okruh zahrnuje čerpací a vsakovací studnu a příslušenství pro dopravu vody do TČ, chladivový okruh obsahující jednotlivé části TČ a sekundární obsah zahrnující zapojení TČ do topného systému objektu.

### **7.1 Primární okruh**

#### **7.1.1 Čerpací a vsakovací studna**

V současnosti již je na pozemku vybudována jedna studna o hloubce 20m ve vzdálenosti 8m od domu. Čerpací zkouškou byla zjištěna dostatečná vydatnost podzemní vody, což umožňuje studnu využít k provozu navrhovaného čerpadla. Vsakovací studna dosud není na pozemku zřízena, ovšem po domluvě s majitelem sousedního pozemku je možnost využít jejich studnu vzdálenou od domu necelých 20m jako vsakovací, přičemž náklady na vybudování vlastní studny blíže domu by několikrát převýšily náklady na provoz této vzdálenější studny.



Obr. 7.1 – Schéma čerpací a vsakovací studny

### 7.1.2 Ponorné čerpadlo

Čerpadlo je umístěno v čerpací studni, odkud dopravuje potřebné množství vody do výparníku. Činnost čerpadla musí být nastavena tak, aby v případě poklesu či přerušení oběhu došlo k odstavení TČ. O životnosti čerpadla rozhoduje především čistota vody a přítomnost obsažených pevných částic.

Potřebný výkon zdroje tepla –  $P_{IN}$  [kW]

Požadovaný tepelný výkon čerpadla je 10kW, topný faktor při tomto výkonu je 4,5.

$$P_{IN} = \frac{Q_k \cdot (\varepsilon_t - 1)}{\varepsilon_t} \quad (7.1)$$

$$P_{IN} = \frac{10 \cdot (4,5 - 1)}{4,5}$$

$$P_{IN} = 7,78 \text{ kW}$$

Potřebný průtok vody v primárním okruhu -  $m_v$  [m<sup>3</sup>/s]

Výstupní teplota vody z primárního okruhu, tedy z výparníku, je 6,7°C.

$$m_v = \frac{P_{IN}}{c_v \cdot (t_1 - t_5)} \quad (7.2)$$

$$m_v = \frac{7,78}{4,18 \cdot (10 - 6,7)}$$

$$m_v = 0,570 \text{ l/s} = 2050,96 \text{ l/h} = 2,051 \text{ m}^3/\text{h}$$

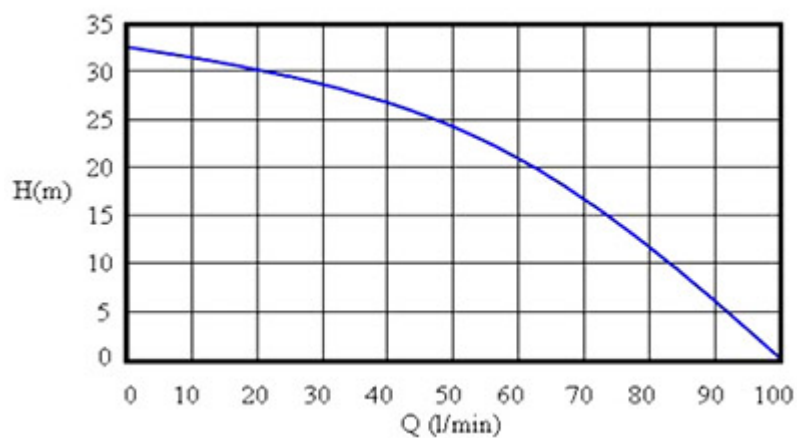
Na základě daných a vypočtených podmínek volím dle katalogu [10] toto ponorné čerpadlo.

**AQUACUP - BUCK 900**Technické parametry čerpadla

Dopravní výška	0 – 32 m
Maximální průtok	0 – 4,8 m <sup>3</sup> /s
Pohon čerpadla	elektromotor 230V
Jmenovitý výkon elektromotoru	0,9 kW
Max. teplota čerpané vody	35°C



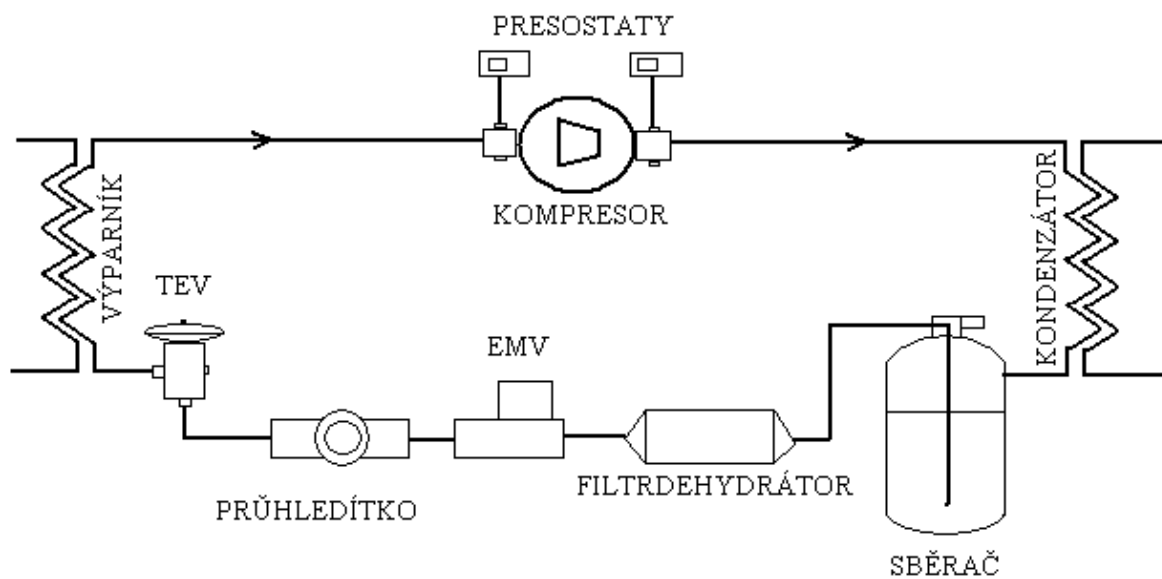
Ponorné třístupňové odstředivé čerpadlo určené k čerpání čisté vody bez abrazivního materiálu. Toto čerpadlo se využívá nejčastěji k zavlažování zahrad, přečerpávání a také k čerpání vody z vrtů, studní či jímek.



Obr. 7.2 – Charakteristika čerpadla

Mezi další příslušenství primárního okruhu patří především potrubní systém k dopravě vody ze studny do TČ a pro odvod vody do vsakovací studny, dále pak to mohou být různé odkalovací a filtrační trubky, a různé pojistné a měřící členy, viz Obr. 6.2.

## 7.2 Chladivový okruh



Obr. 7.3 – Schéma chladivového okruhu

### 7.2.1 Chladivo

Je to chemická látka nebo směs látek používaná jako nositel energie v uzavřeném tepelném cyklu, kde podléhá fázové přeměně z kapaliny na plyn a zpět. Dle složení a tepelných vlastností dělíme chladiva na azeotropní, složené z jedné či více složek, u kterých během fázových přeměnách zůstává složení par i kapaliny neměnné, a zeotropní chladiva, složené ze dvou a více složek, vyznačující se proměnlivým složením par a kapaliny při fázových změnách.

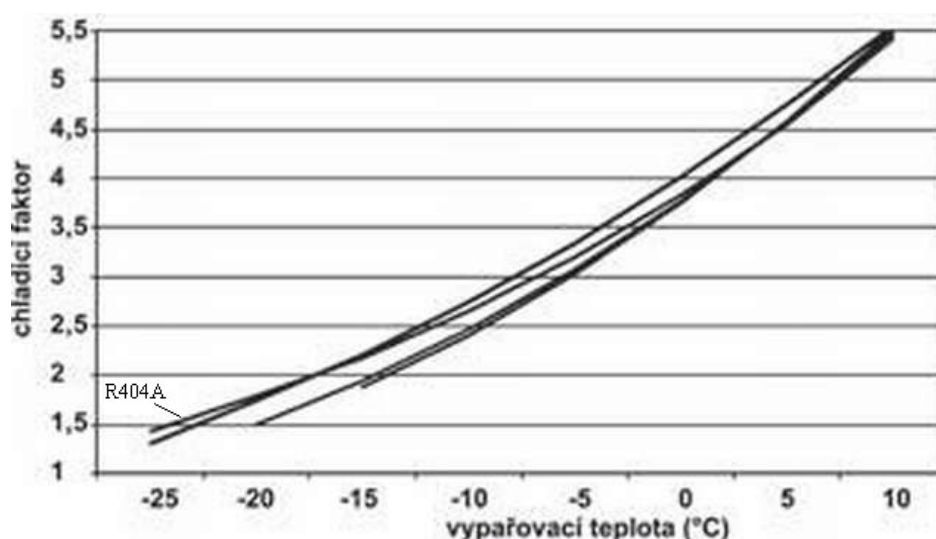
Mezi nejvíce využívaná chladiva patří R22, R134a, R404A a R407C a na základě požadavků na chladivo a výpočtu jednotlivých částí TČ volím chladivo R404A pro jeho rozsáhlé použití a možnost využití v navrhovaném kompresoru a výměnících [11].

#### CHLADIVO R404A

##### Složení

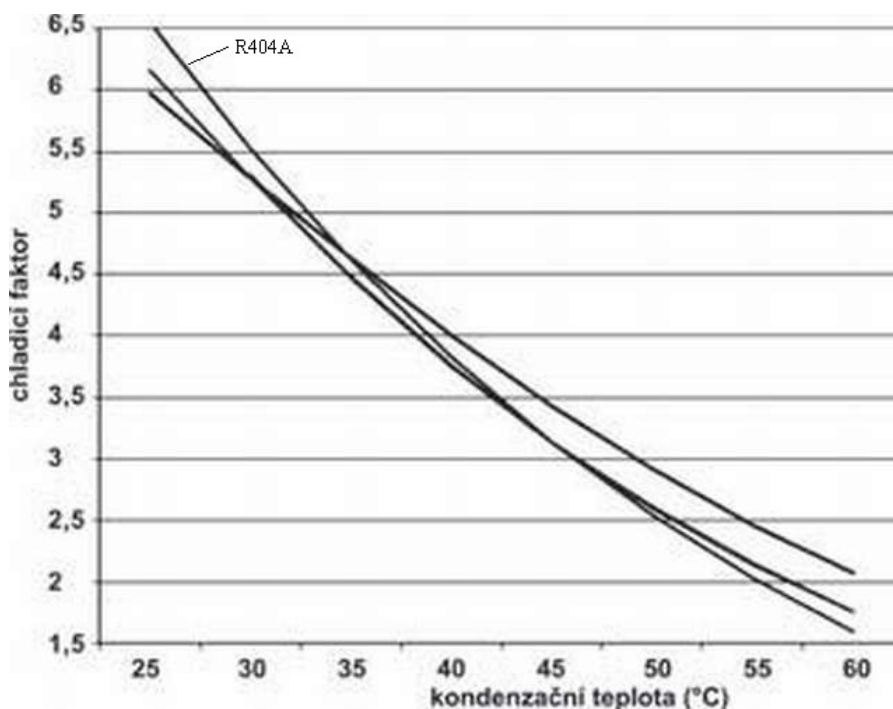
1,1,1,2- tetrafluorethan (R134a)	4%
pentafluorethan (R125)	44%
1,1,1-trifluorethan, R143a	52%

Je to zeotropní směs přibližující se ovšem svými vlastnostmi z azeotropní. Jako plyn je to bezbarvá látka bez zápachu těžší než vzduch. Do TČ se dodává pouze v kapalně fázi.



Obr. 7.4 – Závislost chladičského faktoru chladiv na vypařovací teplotě

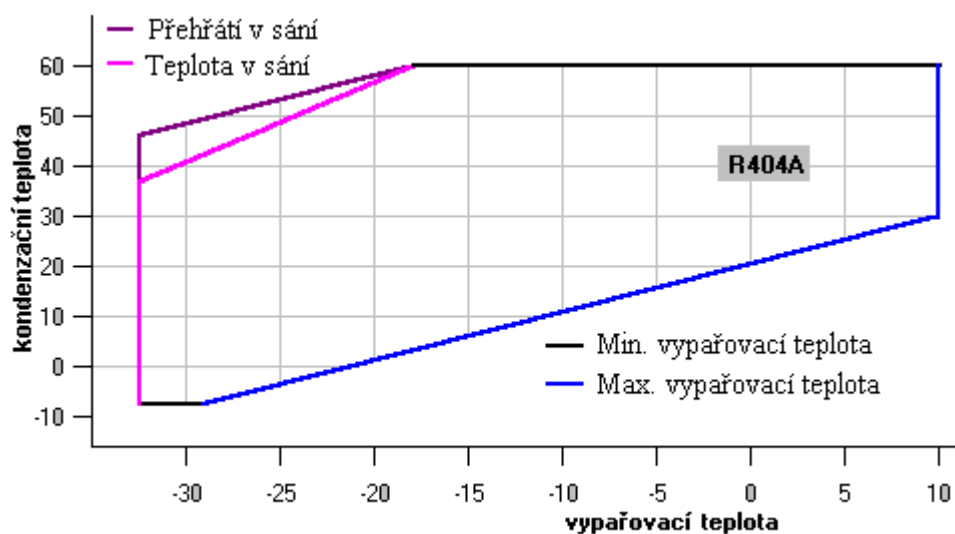




Obr. 7.5 – Závislost chladicího faktoru chladiv na kondenzační teplotě

### 7.2.2 Kompresor

Zařízení sloužící ke stlačení par chladiva odpařených ve výparníku, čímž dojde k silnému zahřátí těchto par. Zahřátá a stlačená pára poté odchází do kondenzátoru. Důležitým parametrem u kompresoru je kompresní poměr, což je poměr mezi tlakem na sacím a výtlačném potrubí, vycházejících ze stanovených podmínek a druhu použitého chladiva [12].



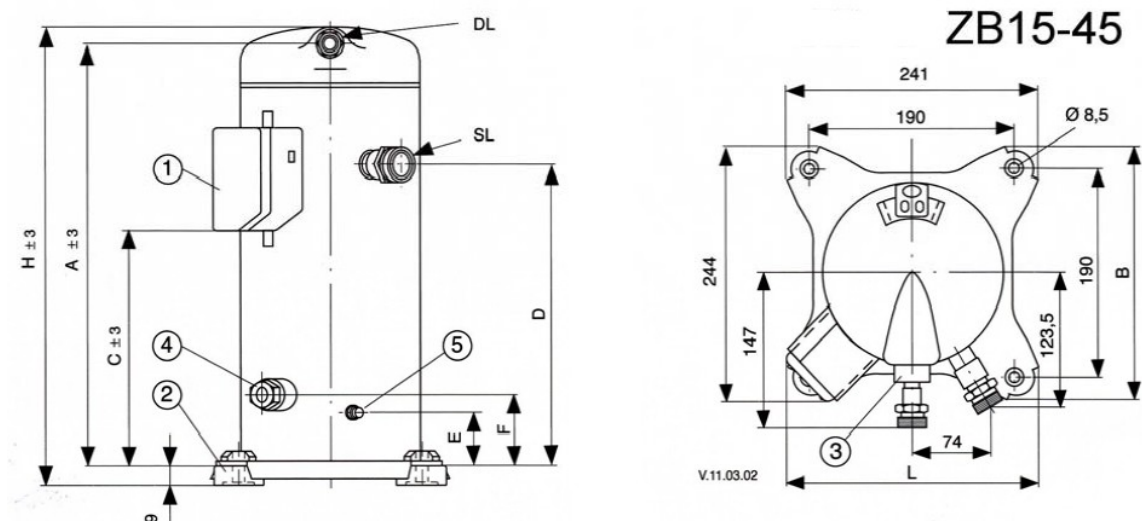
Obr. 7.6 Provozní rozsah kompresoru

Volím spirálový kompresor „Scroll“, který se dnes využívá u většiny TČ, pro jeho vysokou účinnost, dlouhou životnost a nízkou hladinu hluku. Samotný kompresor je složen ze dvou spirál, jedné pohyblivé spirály a jedné připevněné k tělu kompresoru. Pohyblivá spirála obíhá po dráze pevné spirály, čímž tvoří plynové kapsy, které se přemísťují mezi nimi do jejich středu. Tyto kapsy se cestou zmenšují, čímž dochází ke zvýšení tlaku a teploty na požadovanou hodnotu.

Na základě vypočteného chladicího výkonu o hodnotě 7,762kW a objemového průtoku chladiva v sání 8,946 m<sup>3</sup>/h jsem zvolil kompresor od firmy COPELAND, konkrétně typ ZB 38 KCE.

Model	Výkon motoru [kW]	Chladicí výkon [kW]	Výkonnost [m <sup>3</sup> /h]	Náplň maziva [lt]	Čistá hmotnost [kg]	Provedení motoru
ZB 38 KCE	3,5	8,5	14,5	1,9	37	TFD

Tabulka 7.1 – Technické parametry kompresoru



Obr. 7.6 – Rozměry kompresoru

Typ	A ± 3	C ± 3	D	E	F	H	L
ZB 38 KCE	410	233	297	48	81	457	243

Tabulka 7.2 Rozměry kompresoru

### 7.2.3 Výměníky tepla

Výměníky jsou zařízení, ve kterých dochází k přenosu tepla mezi dvěma médii, přičemž platí, že teplo přechází z teplejšího prostředí do chladnějšího. Princip výměníků TČ je již popsán v kapitole 5.1.

Výměníků existuje větší množství, např. trubkové, deskové, lamelové, a při jejich výběru rozhoduje především požadovaný výkon TČ, vstupní a výstupní teploty médií, tlakové ztráty a aktivní plocha výměníku. Volím deskové výměníky, pro jejich vysokou účinnost, chemickou odolnost, schopnost přenášet vysoké výkony při poměrně malých rozměrech a snadnou montáž. Větší tlakové ztráty u tohoto druhu kompenzují zvýšením počtu desek. Samotný výměník je tvořen nerezovými deskami s vyfrézovanými drážkami, které při složení tvoří skupiny kanálků, přes které proudí obě média. Jednotlivé desky jsou k sobě pájeny, což z nich tvoří nerozebíratelný celek. Do systému se tyto výměníky zapojují pájením nebo přišroubováním.

Pro volbu jednotlivých výměníků jsem použil program ALFA LAVAL. Vycházel jsem přitom z vypočtených a zadaných parametrů vstupních a výstupních teplot obou médií, tepelného výkonu a typu chladiva. Model výpočtu a technické údaje obou výměníků jsou uvedeny v příloze č. 3.

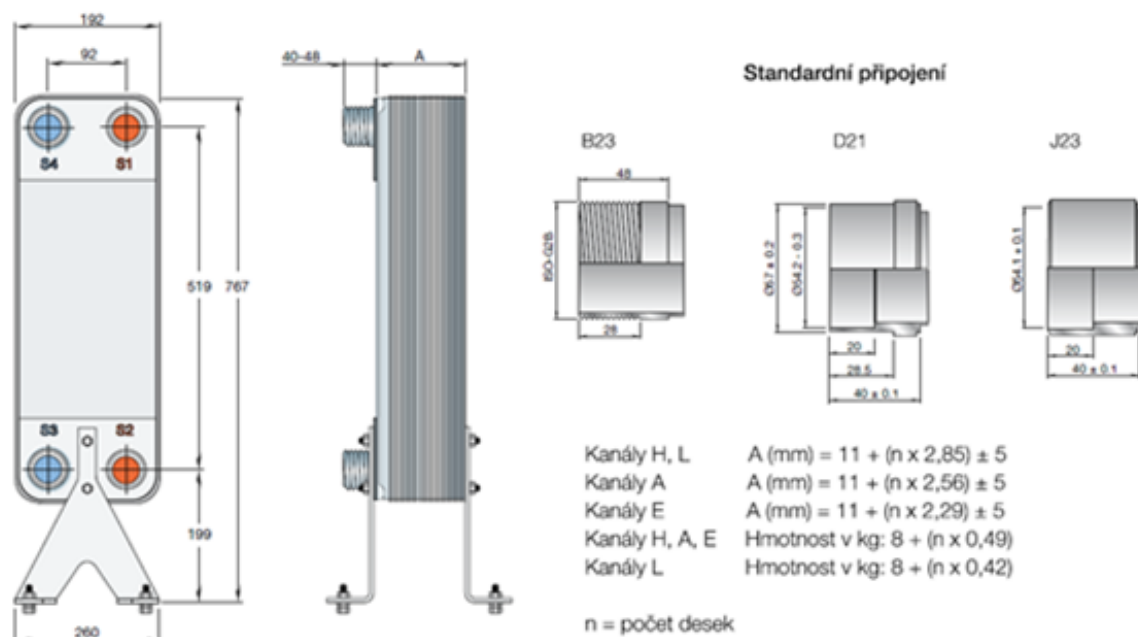
#### Výparník

Doporučený typ AlfaNova 76 – 100H

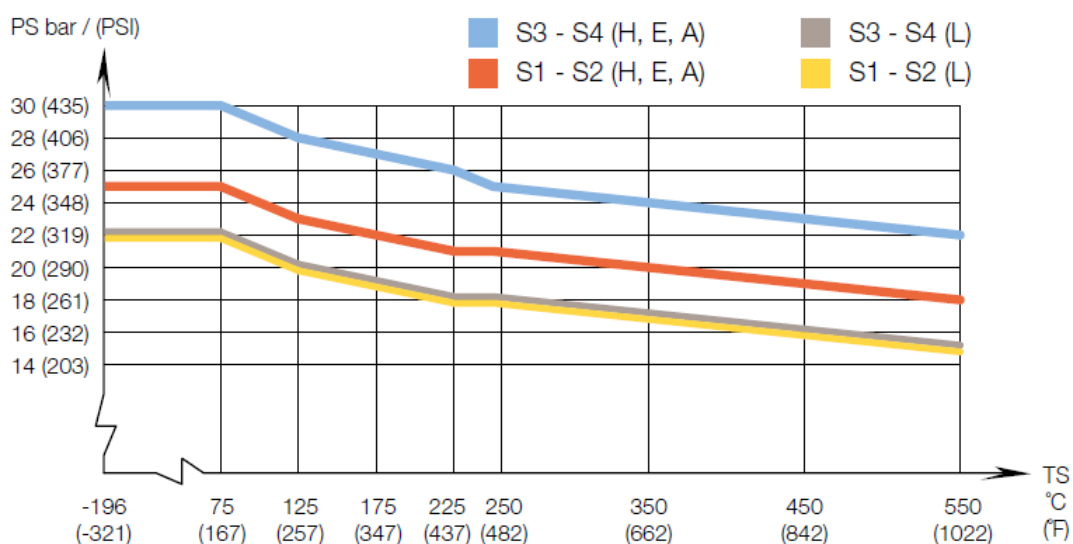
Technické údaje	Hodnota
Min. pracovní teplota	viz graf 6.1
Max. pracovní teplota	viz graf 6.1
Min. pracovní tlak	vakuum
Max. pracovní tlak	viz graf 6.1
Objem kanálu A, H, L [l]	0.25
Objem kanálu E [l]	0.18
Max. velikost částice [mm]	1,2
Max. průtok [m <sup>3</sup> /h]	34
Počet desek	100

Tabulka 7.3 Parametry výparníku





Obr. 7.7 Rozměry výparníku



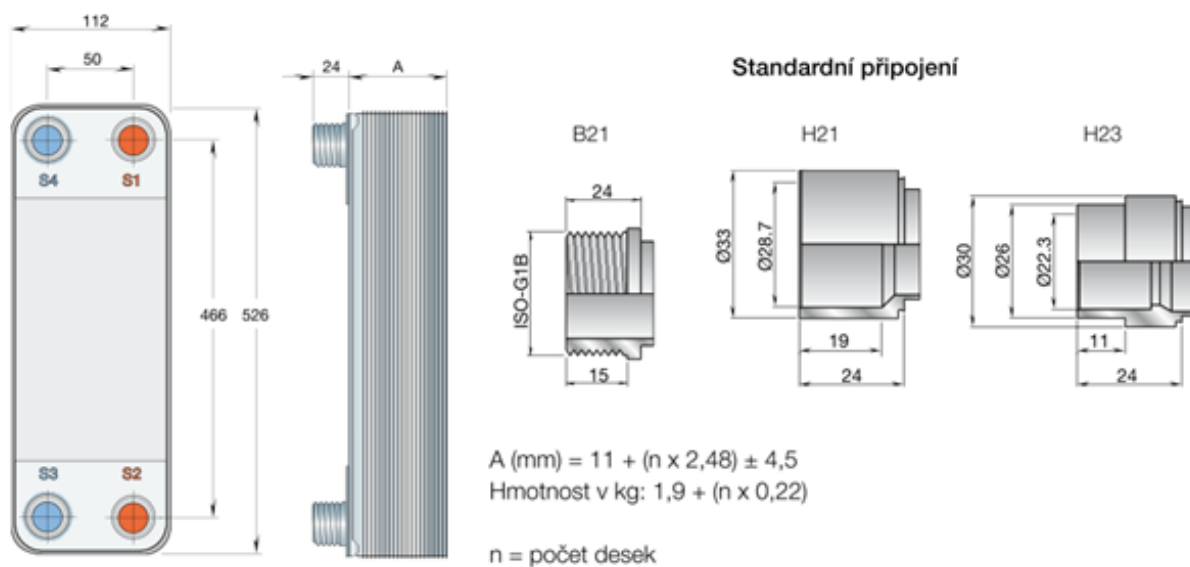
Graf 7.1 – Závislost provozního tlaku na teplotě ve výparníku

Kondenzátor

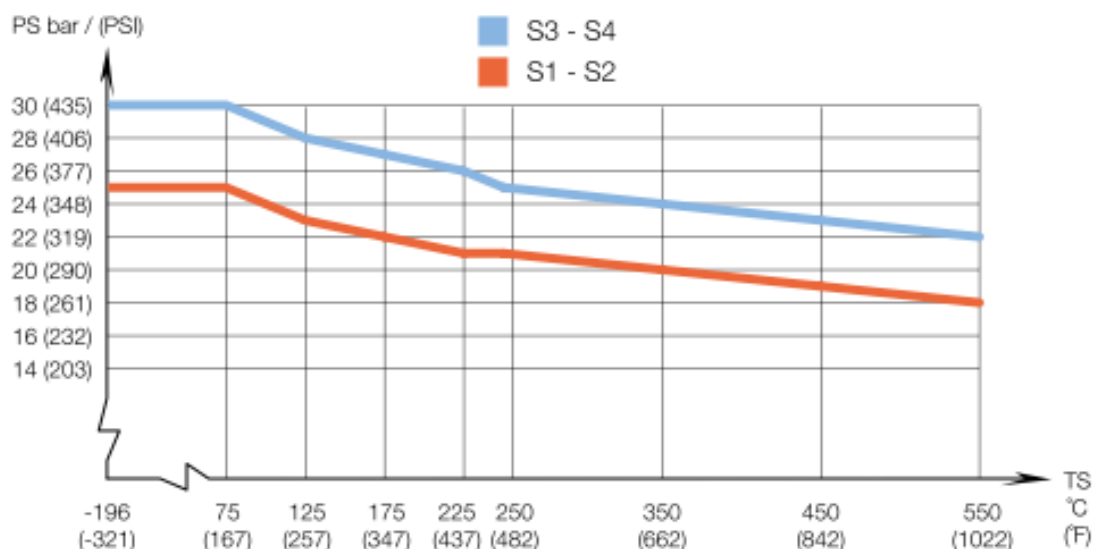
Doporučený typ AlfaNova 52 – 30H

Technické údaje	Hodnota
Min. pracovní teplota	viz graf 6.2
Max. pracovní teplota	viz graf 6.2
Min. pracovní tlak	vakuum
Max. pracovní tlak	viz graf 6.2
Objem kanálu H, L [l]	0,095
Max. velikost částice [mm]*	1,2
Max. průtok [m <sup>3</sup> /h]**	14,5
Počet desek	30

Tabulka 7.4 – Rozměry kondenzátoru



Obr. 7.8 – Rozměry kondenzátoru



Graf 7.2 - Závislost provozního tlaku na teplotě v kondenzátoru

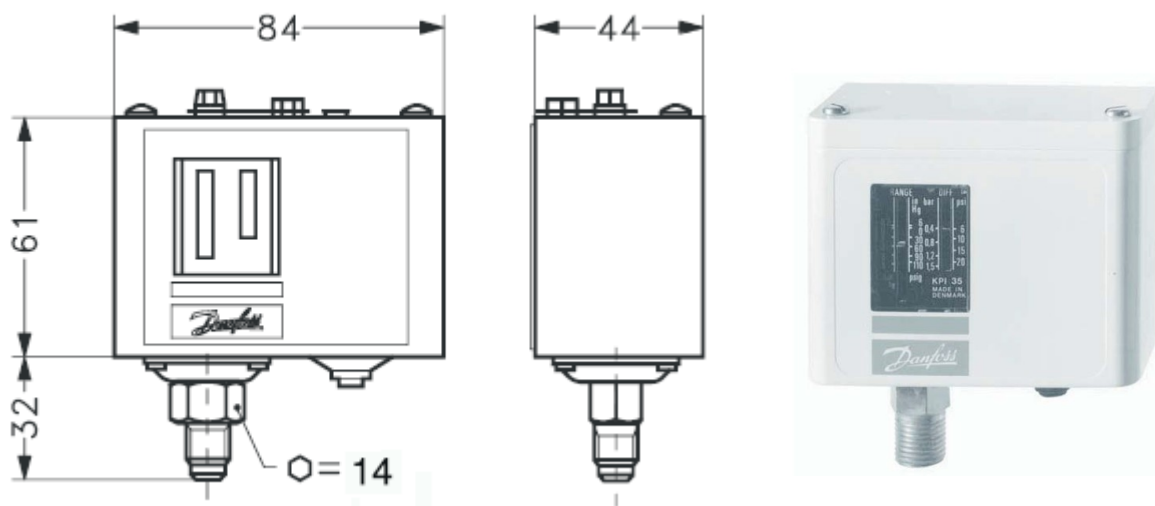
#### 7.2.4 Presostaty

Jsou to zařízení sloužící k regulaci, monitorování a jistění tepelného okruhu před nepřípustnými vlivy, což může být například překročení nebo naopak nadměrný pokles provozního tlaku chladiva na sací či výtlačné straně kompresoru nebo únik chladiva. Fungují tedy jako tlakové spínače na obou stranách kompresoru, lišící se akorát v nastavení vypínacího tlaku. Nízkotlaký presostat jistí okruh před poklesem tlaku v sacím potrubí, zatímco vysokotlaký se spustí, pokud nedochází k odvodu tepla z kondenzátoru.

Zvolil jsem presostaty typu KP 35 a KP 36 od firmy DANFOSS. Rozměry jsou pro oba typy shodné.

Typ	KP 35	KP 36
Teplota okolí [°C]	-40 až +100	
Teplota média [°C]	-40 až +65	
Rozsah nastavení [bar]	-0,2 až 7,5	2 až 14
Nastavitelný tlakový rozdíl [bar]	0,7 až 4	0,7 až 4
Maximální provozní tlak [bar]	22	22

Tabulka 7.5 – Technické parametry presostatů



Obr. 7.9 Rozměry presostatu

### 7.2.5 Sběrač chladiva

Je to stojatá nebo ležatá tlaková nádoba sloužící jako zásobník kapalného chladiva, do něhož je přiváděno chladivo z kondenzátoru a odváděno do filtrdehydrátoru. Kromě zásobníku chladiva slouží také k odlučování vzduchových bublin z chladiva, aby byl zajištěn přívod pouze čisté kapaliny do expanzního ventilu. Při výběru objemu sběrače se přihlíží především na výkon TČ.

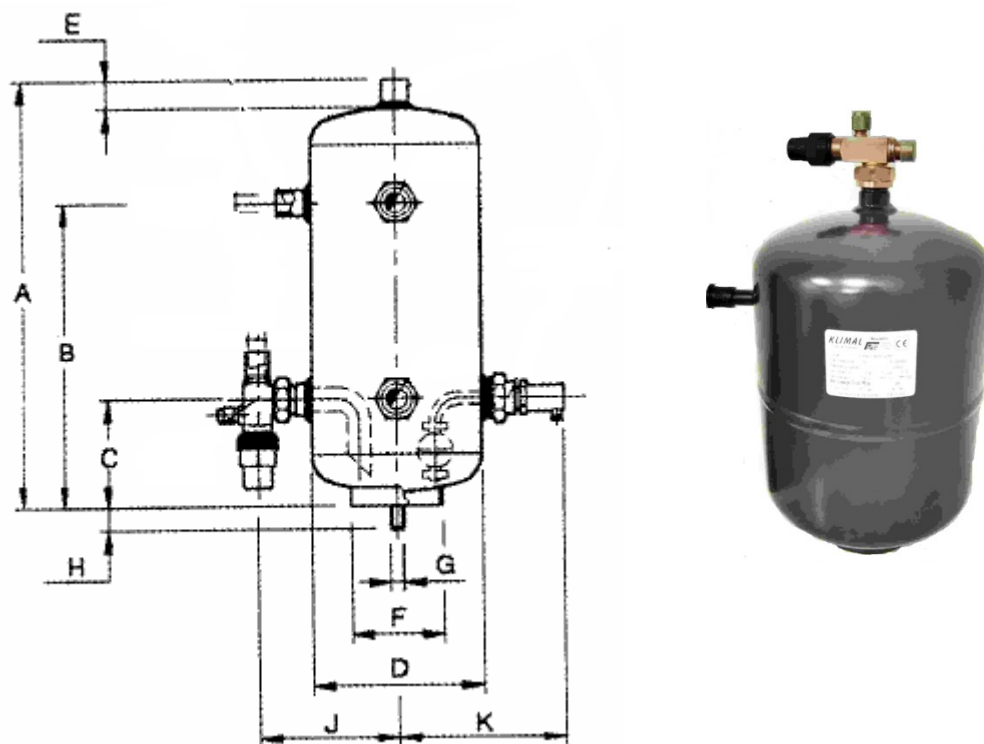
Zvolil jsem stojatý sběrač typu FSR 9.15 od firmy KLIMAL [11].

Typ	D [mm]	A [mm]	B [mm]	C [mm]	E [mm]	F [mm]	G [mm]	H [mm]	J [mm]	K [mm]	Vstup [mm]	Výstup [mm]
FSR 9.15	159	564	416	135	28	100	M 10	20	127	190	16	16

Tabulka 7.6 Rozměry sběrače chladiva

Maximální pracovní tlak 28 bar

Maximální pracovní teplota 100°C



Obr. 7.10 Rozměry sběrače chladiva

### 7.2.6 Filtrdehydrátor

Přístroj odstraňující vlhkost, drobné mechanické nečistoty a kyselé složky z chladivového okruhu pomocí aktivní hmoty, která je tvořena oxidem hliníku na absorbování kyselých složek a molekulárním sítem, což je druh materiálu s velmi dobrou jímavostí vody.

Na základě vypočteného průměru kapalinového potrubí 18mm jsem zvolil filtrdehydrátor od firmy HONEYWELL typ FF 165 se šroubovacím připojením.

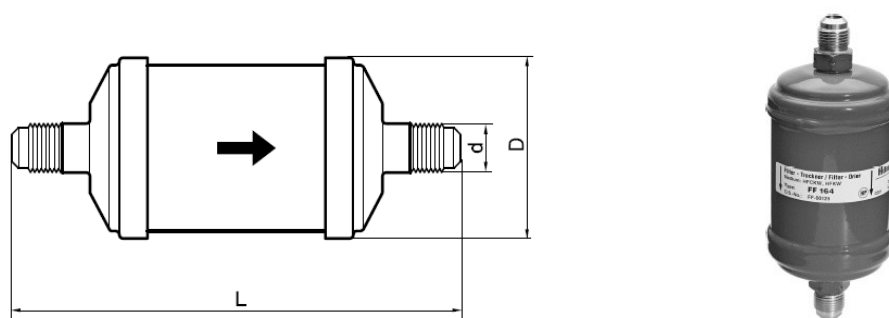
Maximální pracovní tlak 43 bar

Maximální pracovní teplota 80°C

Typ	Výkon [kW]	D [mm]	L [mm]	d [mm]	Hmotnost [kg]
FF 165	31,6	74	184	22	0,96

Tabulka 7.7 – Rozměry filtrdehydrátoru





Obr. 7.11 Rozměry filtrdehydrátoru

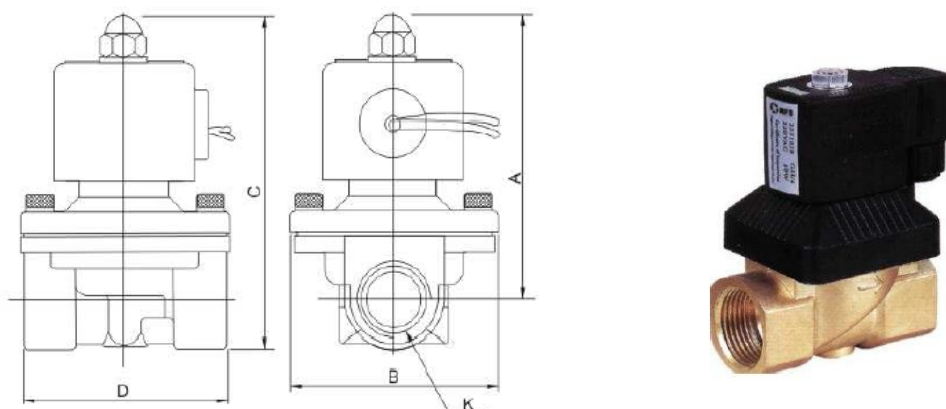
### 7.2.7 Elektromagnetický ventil

Elektromagnetické ventily (EMV) jsou zařízení k ovládání průtoku kapalného chladiva. Ventil se otevírá při zapnutí kompresoru a při jeho vypnutí či odstávce se zavírá. Menší ventily jsou ovládány přímo elektromagnetickým polem cívky, zatímco větší ventily jsou nepřímo řízené a potřebují ke své činnosti alespoň malý rozdíl v tlacích. Do okruhu se umisťují kalíškovým nebo pájeným připojením.

Při výběru ventilu rozhoduje výkon v provozním a nejnižším zatížení a také průřez kapalinového potrubí. Zvolil jsem elektromagnetický ventil firmy MP-W typu 20020 o průřezu připojení 22 mm. Tento ventil je přímo řízený, připojení k obvodu je provedeno z mosazi a do obvodu se zapojuje pájením.

Typ	Příkon	A	B	C	D	K	Cívka
	[kW]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[V]
MP-W200-20	7,6	100	55	117	73	22	AC 230

Tabulka 7.8 – Parametry EMV



Obr. 7.12 – Rozměry EMV

## 7.2.8 Průhledítko

Zařízení sloužící pro vizuální kontrolu průtoku kapaliny. U řady průhledítek je přidán také ukazatel vlhkosti. Pokud by zde chladivo obsahovalo vzduchové bublinky, značí to malé množství chladiva nebo jeho nežádoucí expanzi vlivem zúžení průřezu. Do sestavy se zapojuje šroubováním, pájením, svařováním nebo pomocí přírub.

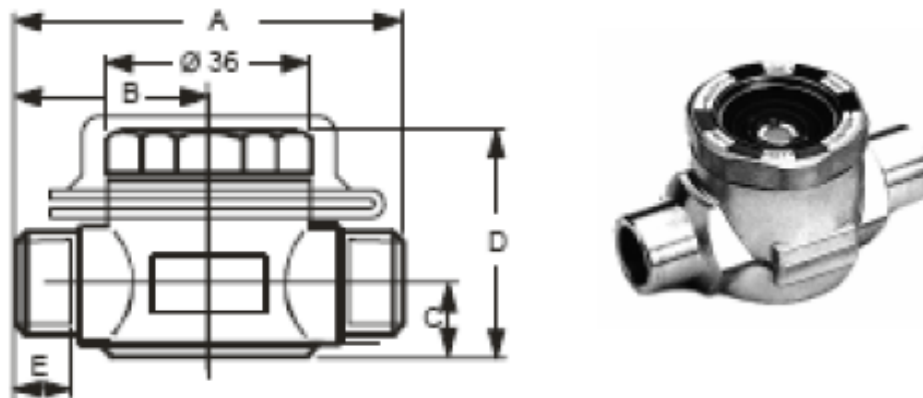
Zvolil jsem mosazné průhledítko od firmy ALCO typu AMI 1-SS 7 s ukazatelem vlhkosti, zapojovaného do obvodu pájením.

Nejvyšší provozní přetlak 31 bar

Provozní teplota -40°C až 100°C

Typ	Hrdlo	A	B	C	D	E
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
AMI 1-SS 7	22	80	40	15	44	20

Tabulka 7.9 – Rozměry průhledítka



Obr. 7.13 Rozměry průhledítka

chladivo	teplota kapaliny °C	obsah vlhkosti v mg vody na 1 kg chladiva (ppm)			
		modrá suché	fialová	purpurová varování	červená mokré
R404A	25	15	33	60	120
	38	25	50	110	150
	52	45	60	140	180

Tabulka 7.10 – Určení vlhkosti dle průhledítka

### 7.2.9 Termostatický expanzní ventil

Termostatický expanzní ventil (TEV) je zařízení snižující tlak kapalného chladiva před vstupem do výparníku a také zajišťující regulaci průtoku chladiva v závislosti na velikosti přehřátí na výstupu z výparníku. Částí TEV je teplotní čidlo plněné plynem, tzv. tykavka, která se připojuje za výstup z výparníku, kde reaguje na změnu teploty a tlaku chladiva. Při zvýšení přehřátí se začne tento plyn roztahovat, což má za následek otevírání trysky ventilu.

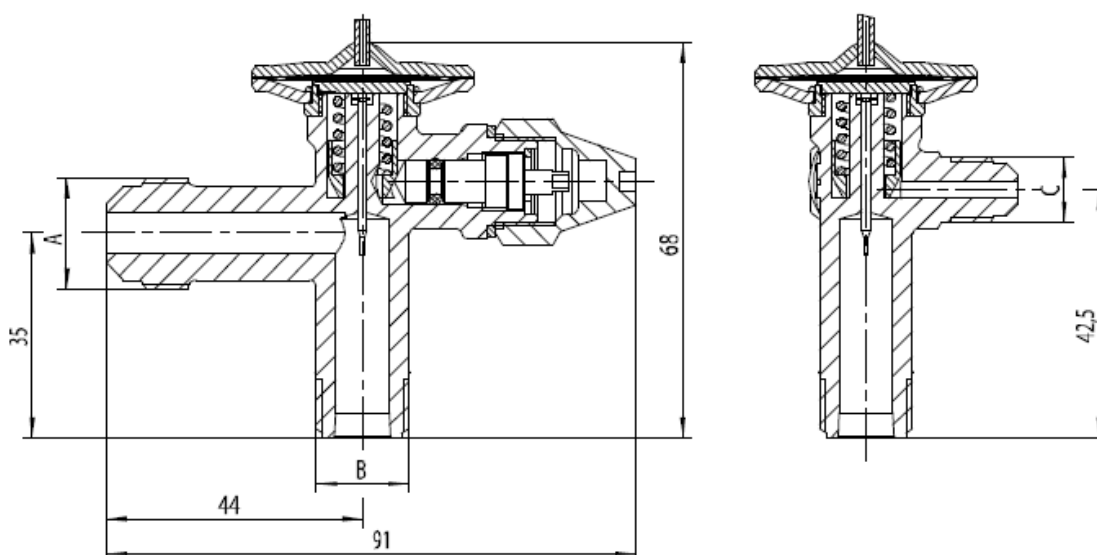
Na základě druhu chladiva R404A a velikosti chladicího výkonu 7,762 kW jsem zvolil TEV s výměnnou tryskou od firmy HONEYWELL typ TMVX.

Maximální pracovní tlak	36 bar
Rozsah vypařovacích hodnot	-30°C až 15°C
Maximální teplota tykavky	140°C



Typ	Vstup (B)	Výstup (A)	Tryska	Vyrovnání tlaku (C)
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
TMVX	16	19	3,5	17,8

Tabulka 7.11 – Rozměry TEV



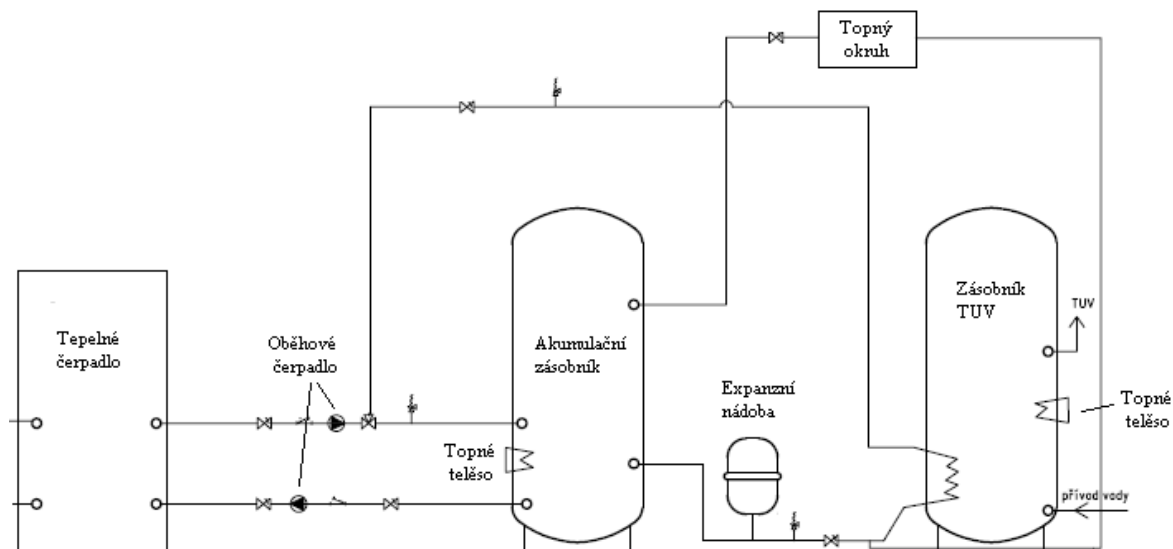
Obr. 7.14 Rozměry TEV

### 7.2.10 Potrubí

V systémech tepelných čerpadel se nejčastěji používají měděné trubky, které jsou odolné i při vysokých tlacích. Jsou zhotoveny z dezoxidované mědi, což jim zaručuje velmi dobrou odolnost proti korozi. Trubky se vyrábějí v různých druzích tvrdosti, která rozhoduje především při jejich ohýbání. Nejčastějším druhem spojování měděných trubek je pájení.

## 7.3 Sekundární okruh

Tento okruh zahrnuje akumulční zásobník pro ohřev topné vody k vytápění objektu, zásobník TUV pro potřeby vody v domácnosti, rozvodných potrubí, topných těles, expanzní nádoby, oběhových čerpadel a dalšího příslušenství, jako jsou pojistné ventily, filtry a zavírací kohouty. Navrhnul jsem také přídavná topná tělesa pro akumulční zásobník a zásobník TUV, přičemž tyto tělesa budou sloužit pouze záložní, pro případ výpadku TČ a do výpočtu nákladů na provoz systému s nimi neuvažuji.



Obr. 7.15 - Schéma zapojení TČ

### 7.3.1 Akumulační zásobník

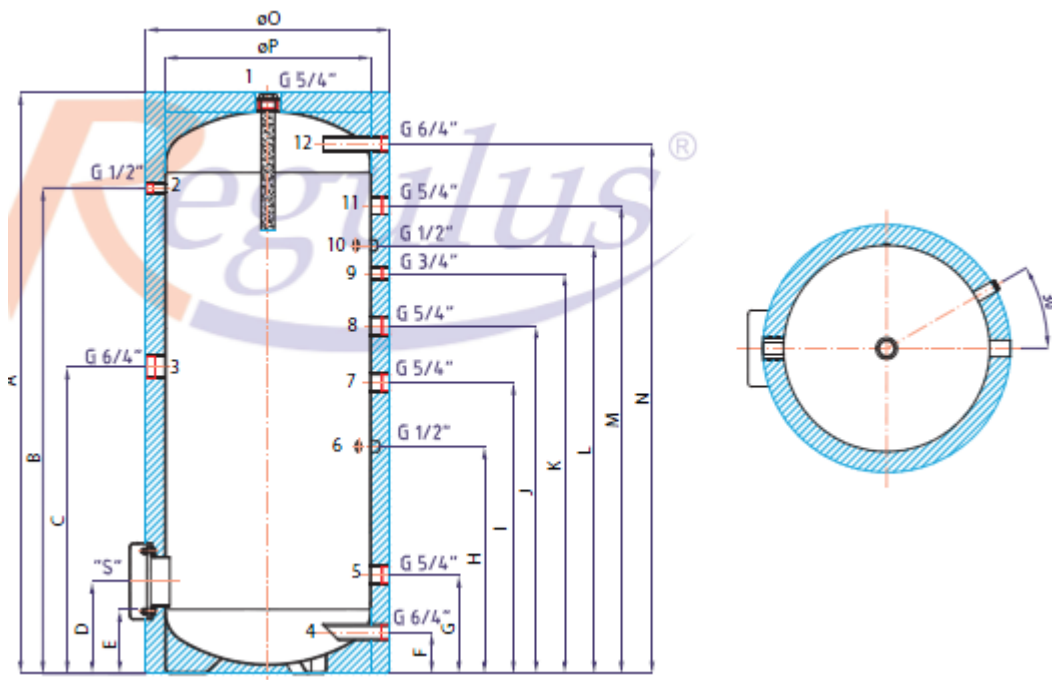
Jedná se o tlakovou nádrž sloužící k akumulaci přebytečného tepla z TČ, což je potřeba například pro zajištění provozu při vysokém tarifu, kdy je TČ vypnuto, a zajišťuje stálý průtok topné vody v sekundárním okruhu.

Zvolil jsem zásobník od firmy REGULUS typ R0BC bez topného hada o objemu 300 l s možností vložit elektrické topné těleso [13].

Maximální provozní teplota	95 °C
Maximální provozní tlak	10 bar
Hmotnost prázdné nádrže	59 kg

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
1710	1384	914	257	170	110	264	654	849	979	1141	1214	1294	1565	610	500

Tabulka 7.12 Rozměry akumulčního zásobníku



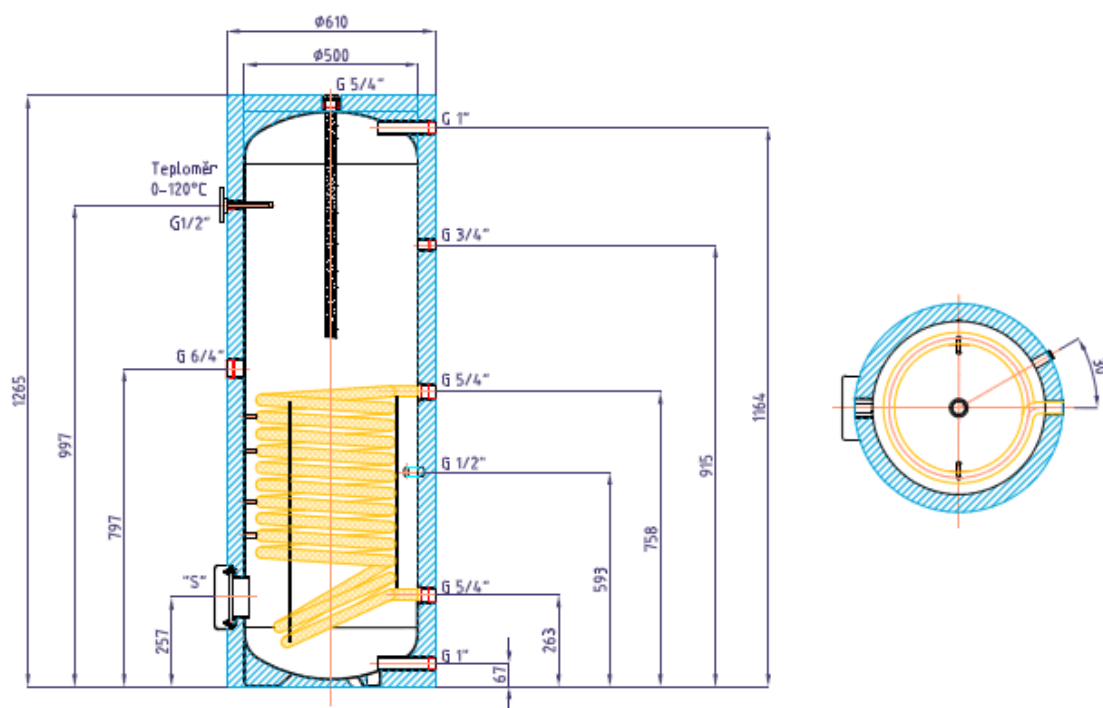
Obr. 7.16 Rozměry akumulčního zásobníku

### 7.3.2 Zásobník TUV

Zásobník zajišťuje dostatečné množství teplé vody pro okamžitou spotřebu. Voda je dohřívána na požadovanou teplotu pomocí topného hada napájeného z TČ. Z rovnice (4.18) byl stanoven potřebný výkon pro dohřev vody 1,57 kW.

Zvolil jsem zásobník od firmy REGULUS typ RBC o objemu 200 l s jedním topným hadem a možností vložit přídatné topné těleso [13].

Maximální provozní teplota	95 °C
Maximální provozní tlak	10 bar
Plocha topného hada	1,5 m <sup>2</sup>
Max. provozní teplota top. hada	110 °C
Max. provozní tlak top. hada	10 bar
Hmotnost prázdné nádrže	82 kg



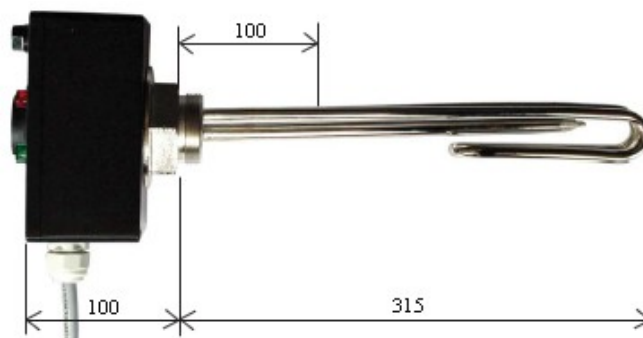
Obr. 7.17 Rozměry zásobníku TUV

### 7.3.3 Záložní topné těleso

Topné tělesa slouží jako záložní zdroj energie pro ohřev topné vody v akumulčním zásobníku a dohřev TUV v zásobníku TUV na požadovanou teplotu při výpadku provozu tepelného čerpadla.

Zvolil jsem elektrické topné tělesa s termostatickou hlaví od firmy REGULUS o topném výkonu 2 kW a vnějším závitem G 6/4", stejné pro oba zásobníky.

Délka netopícího konce 100 mm



Obr. 7.18 Rozměry topného tělesa

### 7.3.4 Expanzní nádoba

Expanzní nádoba slouží k vyrovnání objemu vody v soustavě, způsobeného teplotními změnami, a udržení přetlaku v topném okruhu v požadovaném rozmezí. Nádoba je rozdělena membránou na dvě části, v první je topná voda, ve druhé vyrovnávací plyn. Při zvýšení teploty vody v okruhu dochází ke stlačování plynu, zatímco při poklesu je vlivem tlaku plynu voda vytlačována do oběhu.

Zvolil jsem tlakovou nádobu firmy REGULUS typu MB o objemu 25 l

Maximální pracovní tlak	3 bary
Předtlakování	1,5 bar
Způsob připojení	G 3/4"
Hmotnost	4,8 kg



Obr. 7.19 Rozměry expanzní nádoby

### 7.3.5 Oběhová čerpadla

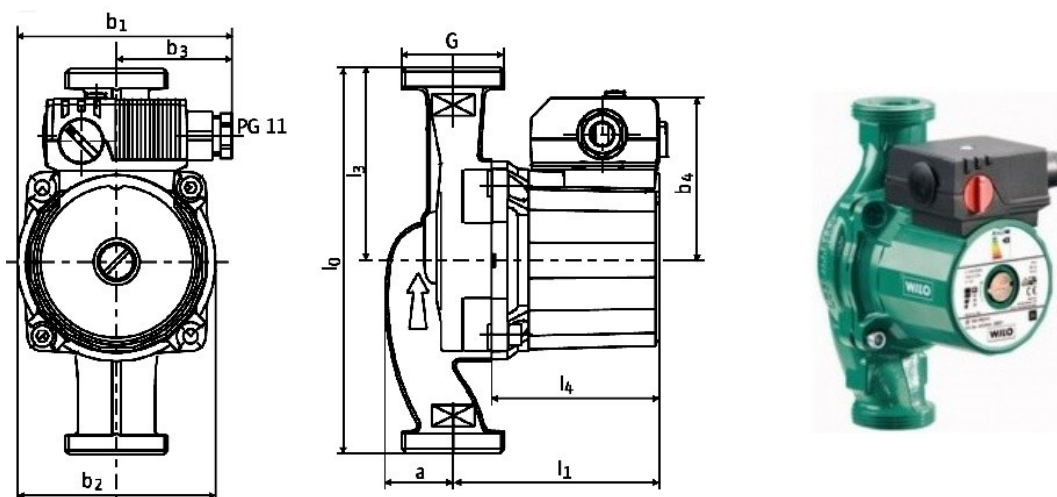
Oběhová čerpadla slouží k rozvodu vody v topném systému, jednak k rozvodu teplé vody do sekundárního okruhu a poté k dopravě studené topné vody do kondenzátoru. Výběr se provádí na základě požadovaného průtoku, přičemž průtok vody kondenzátorem byl programem ALFA LAVAL stanoven 663,2 m<sup>3</sup>/h, viz příloha č. 3.

Zvolil jsem oběhové čerpadla od firmy WILO typ STAR RS 25/6 s volitelnými otáčkami.

Maximální provozní teplota	110 °C
Maximální provozní tlak	10 bar
Maximální průtok	3,5 m <sup>3</sup> /h
Maximální výtlak	5,5 m

Typ	a	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>	b <sub>4</sub>	l <sub>0</sub>	l <sub>1</sub>	l <sub>3</sub>	l <sub>4</sub>
Star RS 25/6	33	100	93	54	76	79	180	97	90

Tabulka 7.13 – Rozměry oběhového čerpadla



Obr. 7.20 Rozměry oběhového čerpadla



## 8. Ekonomické zhodnocení

V současné době je objekt vytápěn pomocí plynového kotle s účinností 0,85, který zajišťuje i ohřev TUV. Konečným cílem této práce je porovnat náklady na vytápění a ohřev TUV pomocí tohoto kotle s náklady na pořízení a provoz TČ ve stejných podmínkách.

### 8.1 Náklady na vytápění a ohřev TUV plynovým kotlem

Ceny zemního plynu jsou stanoveny za energetické jednotky (kWh), které zaručují objektivní účtování v závislosti na podmínkách a kvalitě dodaného zemního plynu (ZP). Od 1. 4. 2007 nejsou ceny za energii zemního plynu regulovány, regulovány jsou pouze ceny za distribuci pro domácnosti, které jsou jedenkrát ročně stanovovány Energetickým regulačním úřadem (ERÚ) [7]. Přičemž ceny plynu jsou vztaženy ke spalnému teplu zemního plynu.

Na základě výpočtu z kapitoly 4.3, celková roční potřeba tepla pro vytápění a ohřev TUV činí 24109 kWh/rok. Náklady za spotřebu zemního plynu byly vypočteny dle dvousložkového ceníku Severomoravské plynárenské a.s. aktuálnímu ke dni 1. 1. 2012.

Roční odběr	Cena za plyn	Stálý měsíční plat
[MWh/rok]	[Kč/MWh]	[Kč]
15 - 20	1543,32	261,14
20 - 25	1535,11	291,82
25 - 30	1530,05	325,02

Tabulka 8.1 – Dvousložková cena ZP

Jelikož je cena ZP vztažena ke spalnému teplu  $Q_n$ , je nutno provést přepočít na výhřevnost  $Q_i$ . Dle literatury [7], lze vycházet ze vztahu  $Q_n = 1,11 \cdot Q_i$  [MJ/m<sup>3</sup>].

Roční náklady na vytápění a ohřev TUV plynovým kotlem -  $C_{PLK}$  [Kč/rok]

$$C_{PLK} = \frac{Q_{CT}}{\eta_{PLK} \cdot 1,11} \cdot \text{cena za plyn} + 12 \cdot \text{stálý měsíční plat} \quad (8.1)$$

$$C_{PLK} = \frac{24,109}{0,85 \cdot 1,11} \cdot 1535,11 + 12 \cdot 291,82$$

$$C_{PLK} = 42728 \text{ Kč/rok}$$

## 8.2 Náklady na zřízení tepelného čerpadla

Ceny jednotlivých komponentů jsou vybrány z katalogů

Okruh	Komponent	Typ	Cena [Kč]
Primární	Čerpací studna	již vybudována	0
	Vsakovací studna	již vybudována	0
	Ponorné čerpadlo	AQUACUP BUCK 900	2947
	Příslušenství	Potrubí, ventily, filtry apod.	10000
Chladivový	Chladivo	R404A	312
	Kompresor	COPELAND ZB 38 KCE	33150
	Výparník	ALFANOVA 76 - 100H	184050
	Kondenzátor	ALFANOVA 52 - 30H	44150
	Presostat	DANFOSS KP 35 a 36	2904
	Sběrač chladiva	KLIMAL FSR 9.15	6751
	Filtrdehydrátor	HONEYWELL FF 165	451
	Elektromagnetický ventil	MP-W 20020	1488
	Průhledítka	ALCO AMI 1-SS 7	1928
	Expanzní ventil	HONEYWELL TMVX	1927
	Potrubí	Měděné 15m	1878
Sekundární	Akumulační zásobník	REGULUS R0BC	19440
	Zásobník TUV	REGULUS RBC	19908
	Topné těleso 2x	REGULUS	7788
	Expanzní nádoba	REGULUS MB	1055
	Oběhové čerpadlo 2x	WILO STAR RS 25/6	4558
	Příslušenství a montáž	Potrubí, ventily, filtry apod.	10000
CELKOVÁ CENA			354685

Tabulka 8.2 – Pořizovací náklady

V rámci programu Zelená úsporám lze žádat o dotaci ve výši 30% investičních nákladů na pořízení TČ a jeho připojení ke zdroji tepla, maximálně však 85 000 Kč. Výše dotace platí pro TČ voda – voda s akumulací nádrží o minimálním měrném objemu 20 l/kW tepelného výkonu [14]. V systému je navržen akumulací zásobník o objemu  $V_{aku}$  300 l.

Měrný objem -  $V_M$  [l/kW]

$$V_M = \frac{V_{aku}}{Q_T} \quad (8.2)$$

$$V_M = \frac{300}{10}$$

$$V_M = 30 \text{ l/kW} \Rightarrow \text{čímž je podmínka pro udělení dotace splněna}$$

Náklady na pořízení TČ a jeho připojení ke zdroji tepla zahrnují tedy pouze primární a chladivový okruh, což činí 291936 Kč.

Výše dotace -  $D$  [Kč]

$$D = 0,3 \cdot 291936$$

$$D = 87580,8 \text{ Kč} \Rightarrow \text{maximální výše je 85000 Kč}$$

Celkové investiční náklady -  $N_{TČ}$  [Kč]

$$N_{TČ} = 354685 - 85000$$

$$N_{TČ} = 269685 \text{ Kč}$$

### 8.3 Náklady na vytápění a ohřev TUV tepelným čerpadlem

Jak bylo zmíněno v kapitole 6.2, při odběru energie ze sítě je možno využít zvýhodněnou sazbu D56d, která platí pro tepelná čerpadla uvedená do provozu po 31. 3. 2005 a operativním řízením doby platnosti nízkého tarifu po dobu 22 hodin [7].

Cena elektrické energie se skládá z měsíčního platu za příkon podle jmenovité proudové hodnoty hlavního jističe před elektroměrem a platu za naměřenou elektrickou energii v jednotlivých tarifech. Ceny jsou dle ceníku společnosti ČEZ platného od 1. 1. 2012.

Položka	Cena	Jednotka
Vysoký tarif	2947,45	Kč/MWh
Nízký tarif	2607,79	Kč/MWh
Jistič do 3x10 A do 1x25 A včetně	204	Kč/měsíc

Tabulka 8.3 – Cena elektrické energie

Roční náklady na vytápění a ohřev TUV tepelným čerpadlem  $C_{TČ}$  [Kč]

Vycházím z výpočtu skutečného spotřeby tepla pro vytápění a ohřev TUV pro každou hodinu v roce, určeného na základě klimatologických údajů meteorologické stanice Ostrava z roku 2001. Výpočty byly provedeny dle rovnic z kapitol 4.1, 4.2 a 4.4.

Datum a čas	Teplota vzduchu	Teplota vody	Skutečná spotřeba tepla na ohřev TUV	Skutečná spotřeba tepla na vytápění	Skutečná celková spotřeba tepla	Skutečný příkon kompresoru	Skutečný topný faktor
	$T_{vz,sk}$	$T_{v,sk}$	$Q_{tuv,sk}$	$Q_{vyt,sk}$	$Q_{c,sk}$	$P_{k,sk}$	$\varepsilon_{t,sk}$
	[°C]	[°C]	[Wh]	[Wh]	[Wh]	[Wh]	[-]
1.1.2001 1:00	4,7	8,9	979,19	2800,47	3779,66	890,49	4,24
1.1.2001 2:00	4,3	8,9	979,24	2877,62	3856,86	908,68	4,24
1.1.2001 3:00	4	8,9	979,29	2935,48	3914,77	922,32	4,24
1.1.2001 4:00	3,8	8,9	979,34	2974,05	3953,39	931,42	4,24
1.1.2001 5:00	3,6	8,9	979,39	3012,62	3992,01	940,52	4,24
1.1.2001 6:00	3,5	8,9	979,43	3031,91	4011,35	945,07	4,24
1.1.2001 7:00	3,3	8,9	979,48	3070,49	4049,97	954,17	4,24
1.1.2001 8:00	3,3	8,8	979,53	3070,49	4050,02	954,18	4,24
1.1.2001 9:00	4,3	8,8	979,58	2877,62	3857,19	908,75	4,24
1.1.2001 10:00	5,6	8,8	979,63	2626,88	3606,51	849,69	4,24
1.1.2001 11:00	6,9	8,8	979,68	2376,15	3355,83	790,63	4,24
1.1.2001 12:00	7,9	8,8	979,72	2183,28	3163,01	745,20	4,24

Tabulka 8.4 – Skutečná spotřeba tepla během roku

Skutečná celková spotřeba tepla

$$\sum Q_{c,sk} = 25,77 \text{ MWh/rok}$$

Skutečný celkový příkon kompresoru

$$\sum P_{k,sk} = 6,071 \text{ MWh/rok}$$

Skutečná spotřeba energie

$$E_{CT,TČ,sk} = \sum P_{k,sk} \cdot 3,6 = 21,8556 \text{ GJ/rok}$$

Průměrný skutečný topný faktor

$$\varepsilon_{t,sk} = 4,244$$

$$C_{TČ} = \sum P_{k,sk} \cdot \text{Platba nízkého tarifu} + 12 \cdot \text{Stálá měsíční platba} \quad (8.3)$$

$$C_{TČ} = 6,071 \cdot 2607,79 + 12 \cdot 204$$

$$C_{TČ} = 18280 \text{ Kč/rok}$$

## 8.4 Celkové ekonomické zhodnocení

Celkové ekonomické zhodnocení obsahuje výpočet roční úspory nákladů na vytápění a ohřev TUV tepelným čerpadlem oproti plynovému kotli a také stanovení doby návratnosti investic na pořízení TČ při jeho dalším provozu.

Roční úspora nákladů –  $C_{\dot{U}}$  [Kč/rok]

$$C_{\dot{U}} = C_{PLK} - C_{T\check{c}} \quad (8.4)$$

$$C_{\dot{U}} = 42728 - 18280$$

$$C_{\dot{U}} = 24448 \text{ Kč/rok}$$

Doba návratnosti –  $D_N$  [rok]

$$D_N = \frac{N_{T\check{c}}}{C_{\dot{U}}} \quad (8.5)$$

$$D_N = \frac{269685}{24448}$$

$$D_N = 11 \text{ roků}$$

## 9. Environmentální zhodnocení

V současné době, kdy je kladen velký důraz na dodržování emisních limitů a snaha o snižování jejich vzniklého množství je potřeba také provést zhodnocení vlivu změny tepelného systému na životní prostředí.

Při určení množství vzniklých emisních látek vycházím z emisních limitů pro jednotlivé zdroje stanovených dle vyhlášek č.352/2002 a č. 425/2004.

Typ zdroje	TZL	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	CO <sub>2</sub>
	[kg/GJ]	[kg/GJ]	[kg/GJ]	[kg/GJ]	[kg/GJ]
Zemní plyn	0,0006	0,0003	0,0472	0,0094	56
Elektřina	0,02591	0,48938	0,4157	0,0393	325

Tabulka 9.1 – Emisní limity pro jednotlivé zdroje

## 9.1 Produkce emisí tepelným čerpadlem

Uvádím výpočet emisí TZL dle vypočteného skutečného příkonu kompresoru tepelného čerpadla, přičemž ostatní složky jsou vypočteny stejným způsobem.

$$E_{TZL,TČ} = TZL_{el} \cdot E_{CT,TČ,sk} \quad (9.1)$$

$$E_{TZL,TČ} = 0,02591 \cdot 21,8556$$

$$E_{TZL,TČ} = 0,566 \text{ kg/rok}$$

Typ zdroje	TZL	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	CO <sub>2</sub>
	[kg/rok]	[kg/rok]	[kg/rok]	[kg/rok]	[kg/rok]
Elektřina	0,566	10,696	9,085	0,859	7103,07

Tabulka 9.2 – Roční produkce emisí tepelným čerpadlem

## 9.2 Produkce emisí plynovým kotlem

Uvádím výpočet emisí TZL dle vypočtené celkové spotřeby tepla, ostatní složky jsou vypočteny stejným způsobem.

$$E_{TZL,PLK} = TZL_{zp} \cdot E_{CT} \quad (9.2)$$

$$E_{TZL,PLK} = 0,0006 \cdot 86,836$$

$$E_{TZL,PLK} = 0,0052 \text{ kg/rok}$$

Typ zdroje	TZL	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	CO <sub>2</sub>
	[kg/rok]	[kg/rok]	[kg/rok]	[kg/rok]	[kg/rok]
Zemní plyn	0,052	0,261	4,099	0,816	4862,82

Tabulka 9.3 – Roční produkce emisí plynovým kotlem

## 9.3 Srovnání produkce emisí obou zdrojů

Při srovnání hodnot množství vzniklých emisí je zřejmé, že elektřina má několikanásobně vyšší produkci znečišťujících látek než plynový kotel na zemní plyn. Je to způsobeno především velkým podílem uhelných elektráren a tepláren podílejících se na výrobě elektrické energie v České republice, neboť při spalování uhlí vzniká daleko větší množství škodlivin než při spalování zemního plynu.

## 10. Závěr

Na základě výpočtu celkové tepelné ztráty zvoleného domu obálkovou metodou dle normy ČSN 02 0210 a normy ČSN 73 1540-3, jsem vypočítal celkovou roční spotřebu tepla na vytápění domu a ohřev TUV, která činí 24,109 MWh/rok. Dosud byl pro vytápění a ohřev TUV používán plynový kotel o výkonu 10kW, přičemž na žádost majitele by tento kotel měl být plně nahrazen tepelným čerpadlem, proto jsem zvolil monovalentní provoz bez přídavných topných těles. Navržená topná tělesa jsou pouze jako záložní, pro případ výpadku TČ. Předpokladem je, že čerpadlo bude při svém provozu využívat tarif D56d, pro který je počítána nízká sazba po dobu provozu 22 hodin denně, zbylé dvě hodiny bude čerpadlo vypnuto, proto jsem navýšil potřebný výkon navrhovaného čerpadla o hodnotu 1,079.

Výpočet hlavních parametrů čerpadla jsem provedl pomocí programu EES a poté na základě těchto hodnot jsem vybral jednotlivé prvky pro primární okruh zajišťující dopravu vody ze zdroje do čerpadla, chladivový okruh obsahující dílčí části tepelného čerpadla a sekundární okruh zahrnující zapojení TČ do topného systému objektu. Po započtení využitelné dotace z programu Zelená úsporám, na pořízení tepelného čerpadla a nákladů na jeho připojení k nízkopotenciálnímu zdroji tepla, jsou celkové náklady na sestavení navrženého čerpadla 269685 Kč.

Na základě určení skutečného množství spotřebovaného tepla za rok, které činí 25,77 MWh/rok, jsem stanovil náklady na vytápění a ohřev TUV pro plynový kotel i tepelné čerpadlo. Roční úspora nákladům provozu TČ oproti plynovému kotli je 24448 Kč/rok. Návratnost nákladů na pořízení tepelného čerpadla pak činí 11 let.

V závěru diplomové práce jsem se pak věnoval enviromentálnímu zhodnocení vytápění tepelným čerpadlem. Množství emisí vzniklých při použití TČ je několikrát vyšší než při použití plynového kotle. Je to způsobeno především velkým podílem uhelných elektráren a tepláren podílejících se na výrobě elektrické energie v České republice, neboť při spalování uhlí vzniká daleko větší množství škodlivin než při spalování zemního plynu.

## Seznam použité literatury

- [1] ČSN 060210: *Výpočet tepelných ztrát budov při ústředním vytápění*, Květen 1994
- [2] ČSN 730540-3: *Tepelná ochrana budov – Navrhované hodnoty veličin*, Listopad 2005
- [3] ŽERAVÍK A.; *Stavíme tepelné čerpadlo*, První vydání 2003, EURO-PRINT
- [4] [www.oknamacek.cz](http://www.oknamacek.cz)
- [5] [www.enviros.cz](http://www.enviros.cz)
- [6] [www.mpo-efekt.cz](http://www.mpo-efekt.cz)
- [7] [www.tzb-info.cz](http://www.tzb-info.cz)
- [8] [www.topeni-cerpadla.cz](http://www.topeni-cerpadla.cz)
- [9] [www.havog.cz](http://www.havog.cz)
- [10] [www.e-cerpadla.cz](http://www.e-cerpadla.cz)
- [11] [www.schiessl.cz](http://www.schiessl.cz)
- [12] [www.alfaco.cz](http://www.alfaco.cz)
- [13] [www.regulus.cz](http://www.regulus.cz)
- [14] [www.zelenausporam.cz](http://www.zelenausporam.cz)
- [15] KAMÍNSKÝ J., VRTEK M.; *Obnovitelné zdroje energie*, Ostrava 1998, VŠB-TUO
- [16] BLAHOŽ V., KADLEC Z.; *Základy sdílení tepla*, Ostrava 2000,  
Edice SPBI spektrum 2
- [17] HUMM O.; *Nízkoenergetické domy*. Praha 1999, Grada
- [18] DVOŘÁK Z., KLAZAR L., PETRÁK J.; *Tepelná čerpadla*, Praha 1987,  
SNTL – Nakladatelství technické literatury

## Použité výpočtové programy

Microsoft Office Word 2007

Microsoft Office Excel 2007

ALFA LAVAL

Engineering Equation Solver (EES)



## Seznam příloh

Příloha č. 1: Výpočet tepelných ztrát objektu

Příloha č. 2: Výpočet TČ v programu EES

Příloha č. 3: Výpočet parametrů výměníků v programu ALFA LAVAL

Příloha č. 4: Výkresová dokumentace navrženého systému

Příloha č. 5: Výkresová dokumentace domu

**Příloha č. 1 - Výpočet tepelných ztrát objektu**

101+102		
Rozměry	$L_i$ [m]	$H_i$ [m]
Stěna VÝCHOD	2,7	2,68
Stěna SEVER	6,05	2,68
Okno1	1,2	1,3
Dveře1	0,9	2,1
Podlaha	6,05	2,7
Sokl	8,75	1,3
Prostředí	$t$ [°C]	$\alpha$ [W/m <sup>2</sup> K]
Interiér	-15	23
Exteriér	20	8
Zemina	5	23
STĚNY	$L_i$ [m]	$\lambda_i$ [W/mK]
Omítka vápenná	0,02	0,88
Porotherm 36 P+D	0,36	0,174
Omítka vápen-cement	0,02	0,99
Součinitel prostupu tepla	$k$ [W/m <sup>2</sup> K]	0,438524736
Tepelná ztráta stěnami	$Q_{O,st}$ [W]	306,9673155
PODLAHA	$L_i$ [m]	$\lambda_i$ [W/mK]
Štěrkopísek	0,25	0,7
Betonová mazanina	0,15	1,05
Hydroizolace	0,003	0,2
Polystyrénové desky	0,04	0,035
Cementový potěr	0,045	1,14
Mirelon	0,002	0,038
Plovoucí podlaha	0,01	0,04
Součinitel prostupu tepla	$k$ [W/m <sup>2</sup> K]	0,461160877
Tepelná ztráta podlahou	$Q_{O,po}$ [W]	112,9959439
SOKL	$L_i$ [m]	$\lambda_i$ [W/mK]
Betonová mazanina	0,5	1,05
Polystyrénové desky	0,04	0,035
Cementový potěr	0,06	1,14
Součinitel prostupu tepla	$k$ [W/m <sup>2</sup> K]	0,543431756
Tepelná ztráta soklem	$Q_{O,so}$ [W]	216,353768
OKNA A DVEŘE		$k$ [W/m <sup>2</sup> K]
Okno1		1,2
Dveře1		1,2
Tepelná ztráta okny a dveřmi	$Q_{O,st}$ [W]	144,9
Základní tepelná ztráta	$Q_O$ [W]	781,2170275

Celková plocha	$S \text{ [m}^2\text{]}$	79,57
Prům. souč. prostupu tepla	$k_c \text{ [W/mK]}$	0,280513843
Přirážka p1		0,042077076
Přirážka p2		0
Přirážka p3		0,1
Tepelná ztráta prostupem	$Q_P \text{ [W]}$	892,2100588
Délka spáry	$L \text{ [m]}$	11
Souč. spár. průvzdušnosti	$i_{LV} \text{ [m}^2\text{/sPa}^{0,67}\text{]}$	0,00014
Souč. průvzdušnosti	$\Sigma i_{LV} L \text{ [m}^3\text{/sPa}^{0,67}\text{]}$	0,00154
Char. číslo budovy	$B \text{ [Pa}^{0,67}\text{]}$	8
Char. číslo místnosti	$M \text{ [-]}$	0,7
Intenzita výměny vzduchu	$n_h \text{ [h}^{-1}\text{]}$	0,5
Objem místnosti	$V_m \text{ [m}^3\text{]}$	39,204
Přirozené větrání	$V_{vP} \text{ [m}^3\text{/s]}$	0,008624
Větrání požadované	$V_{vH} \text{ [m}^3\text{/s]}$	0,005445
Tepelná ztráta větráním	$Q_v \text{ [W]}$	392,392
Celková ztráta	$Q_c \text{ [W]}$	1284,602059

103		
Rozměry	$L_i \text{ [m]}$	$H_i \text{ [m]}$
Stěna JIH	2	2,68
Stěna ZÁPAD	2,1	2,68
Okno1	0,6	1,3
Sokl	4,1	1,3
Podlaha	2	2,1
Prostředí	$t \text{ [}^\circ\text{C]}$	$\alpha \text{ [W/m}^2\text{K]}$
Interiér	-15	23
Exteriér	20	8
Zemina	5	23
STĚNY	$L_i \text{ [m]}$	$\lambda_i \text{ [W/mK]}$
Omítka vápenná	0,02	0,88
Porotherm 36 P+D	0,36	0,174
Omítka vápen-cement	0,02	0,99
Součinitel prostupu tepla	$k \text{ [W/m}^2\text{K]}$	0,438524736
Tepelná ztráta stěnami	$Q_{O, \text{st}} \text{ [W]}$	174,5819599
PODLAHA	$L_i \text{ [m]}$	$\lambda_i \text{ [W/mK]}$
Štěrkopísek	0,25	0,7
Betonová mazanina	0,15	1,05
Hydroizolace	0,003	0,2
Polystyrénové desky	0,04	0,035

Cementový potěr	0,045	1,14
Keramická dlažba	0,012	1,01
Součinitel prostupu tepla	$k [W/m^2K]$	0,532569196
Tepelná ztráta podlahou	$Q_{O,po}[W]$	42,49902181
<b>SOKL</b>	$L_i [m]$	$\lambda_i [W/mK]$
Betonová mazanina	0,5	1,05
Polystyrénové desky	0,04	0,035
Cementový potěr	0,06	1,14
Součinitel prostupu tepla	$k [W/m^2K]$	0,543431756
Tepelná ztráta soklem	$Q_{O,so} [W]$	112,9631592
<b>OKNA A DVEŘE</b>		$k [W/m^2K]$
Okno1		1,2
Tepelná ztráta okny a dveřmi	$Q_{O,s} [W]$	36,504
<b>Základní tepelná ztráta</b>	$Q_O [W]$	366,5481409
Celková plocha	$S [m^2]$	30,376
Prům. souč. prostupu tepla	$k_c [W/mK]$	0,309411057
Přirážka p1		0,046411659
Přirážka p2		0
Přirážka p3		0
<b>Tepelná ztráta prostupem</b>	$Q_P [W]$	383,5602481
Délka spáry	$L [m]$	3,8
Souč. spár. průvzdušnosti	$i_{LV} [m^2/sPa^{0,67}]$	0,00014
Souč. průvzdušnosti	$\Sigma i_{LV} L [m^3/sPa^{0,67}]$	0,000532
Char. číslo budovy	$B [Pa^{0,67}]$	8
Char. číslo místnosti	$M [-]$	0,7
Intenzita výměny vzduchu	$n_h [h^{-1}]$	0,5
Objem místnosti	$V_m [m^3]$	10,08
Přirozené větrání	$V_{vP} [m^3/s]$	0,0029792
Větrání požadované	$V_{vH} [m^3/s]$	0,0014
<b>Tepelná ztráta větráním</b>	$Q_v [W]$	151,04544
<b>Celková ztráta</b>	<b><math>Q_c [W]</math></b>	<b>534,6056881</b>

<b>104</b>		
<b>Rozměry</b>	$L_i [m]$	$H_i [m]$
Stěna ZÁPAD	2	2,68
Dveře1	1,05	2,1
Podlaha	2,6	2
Sokl	2	1,3
<b>Prostředí</b>	$t [^{\circ}C]$	$\alpha [W/m^2K]$

Interiér	-15	23
Exteriér	20	8
Zemina	5	23
<b>STĚNY</b>	$L_i$ [m]	$\lambda_i$ [W/mK]
Omítka vápenná	0,02	0,88
Porotherm 36 P+D	0,36	0,174
Omítka vápen-cement	0,02	0,99
Součinitel prostupu tepla	$k$ [W/m <sup>2</sup> K]	0,438524736
Tepelná ztráta stěnami	$Q_{O,s}$ [W]	41,50636631
<b>PODLAHA</b>	$L_i$ [m]	$\lambda_i$ [W/mK]
Štěrkopísek	0,25	0,7
Betonová mazanina	0,15	1,05
Hydroizolace	0,003	0,2
Polystyrénové desky	0,04	0,035
Cementový potěr	0,045	1,14
Keramická dlažba	0,012	1,01
Součinitel prostupu tepla	$k$ [W/m <sup>2</sup> K]	0,532569196
Tepelná ztráta podlahou	$Q_{O,po}$ [W]	27,69359817
<b>SOKL</b>	$L_i$ [m]	$\lambda_i$ [W/mK]
Betonová mazanina	0,5	1,05
Polystyrénové desky	0,04	0,035
Cementový potěr	0,06	1,14
Součinitel prostupu tepla	$k$ [W/m <sup>2</sup> K]	0,543431756
Tepelná ztráta soklem	$Q_{O,so}$ [W]	42,387677
<b>OKNA A DVEŘE</b>		$k$ [W/m <sup>2</sup> K]
Dveřel		1,2
Tepelná ztráta okny a dveřmi	$Q_{O,s}$ [W]	79,38
<b>Základní tepelná ztráta</b>	$Q_O$ [W]	190,9676415
Celková plocha	$S$ [m <sup>2</sup> ]	33,6
Prům. souč. prostupu tepla	$k_c$ [W/mK]	0,189452025
Přirážka p1		0,028417804
Přirážka p2		0
Přirážka p3		0
<b>Tepelná ztráta prostupem</b>	$Q_P$ [W]	196,3945224
Délka spáry	$L$ [m]	6,3
Souč. spár. průvzdušnosti	$i_{LV}$ [m <sup>2</sup> /sPa <sup>0,67</sup> ]	0,00014
Souč. průvzdušnosti	$\Sigma i_{LV} L$ [m <sup>3</sup> /sPa <sup>0,67</sup> ]	0,000882
Char. číslo budovy	$B$ [Pa <sup>0,67</sup> ]	8
Char. číslo místnosti	$M$ [-]	0,7
Intenzita výměny vzduchu	$n_h$ [h <sup>-1</sup> ]	0,5

Objem místnosti	$V_m [m^3]$	12,48
Přirozené větrání	$V_{vP} [m^3/s]$	0,0049392
Větrání požadované	$V_{vH} [m^3/s]$	0,001733333
Tepelná ztráta větráním	$Q_v [W]$	192,6288
Celková ztráta	$Q_c [W]$	389,0233224

105		
Rozměry	$L_i [m]$	$H_i [m]$
Stěna ZÁPAD	3	2,68
Stěna SEVER	2	2,68
Okno1	0,6	1,3
Okno2	0,9	1,3
Podlaha	2	3
Sokl	5	1,3
Prostředí	$t [^{\circ}C]$	$\alpha [W/m^2K]$
Interiér	-15	23
Exteriér	20	8
Zemina	5	23
STĚNY	$L_i [m]$	$\lambda_i [W/mK]$
Omítka vápenná	0,02	0,88
Porotherm 36 P+D	0,36	0,174
Omítka vápen-cement	0,02	0,99
Součinitel prostupu tepla	$k [W/m^2K]$	0,438524736
Tepelná ztráta stěnami	$Q_{O,st} [W]$	150,633247
PODLAHA	$L_i [m]$	$\lambda_i [W/mK]$
Štěrkopísek	0,25	0,7
Betonová mazanina	0,15	1,05
Hydroizolace	0,003	0,2
Polystyrénové desky	0,04	0,035
Cementový potěr	0,045	1,14
Keramická dlažba	0,012	1,01
Součinitel prostupu tepla	$k [W/m^2K]$	0,532569196
Tepelná ztráta podlahou	$Q_{O,po} [W]$	31,95415174
SOKL	$L_i [m]$	$\lambda_i [W/mK]$
Betonová mazanina	0,5	1,05
Polystyrénové desky	0,04	0,035
Cementový potěr	0,06	1,14
Součinitel prostupu tepla	$k [W/m^2K]$	0,543431756
Tepelná ztráta soklem	$Q_{O,so} [W]$	105,9691925
OKNA A DVEŘE		$k [W/m^2K]$

Okno1		1,2
Okno2		1,2
Tepelná ztráta okny a dveřmi	$Q_{O,s} [W]$	70,2
Základní tepelná ztráta	$Q_O [W]$	358,7565912
Celková plocha	$S [m^2]$	38,8
Prům. souč. prostupu tepla	$k_c [W/mK]$	0,30821013
Přirážka p1		0,046231519
Přirážka p2		0
Přirážka p3		0,1
Tepelná ztráta prostupem	$Q_P [W]$	411,2181127
Délka spáry	$L [m]$	8,2
Souč. spár. průvzdušnosti	$i_{LV} [m^2/sPa^{0,67}]$	0,00014
Souč. průvzdušnosti	$\Sigma i_{LV} L [m^3/sPa^{0,67}]$	0,001148
Char. číslo budovy	$B [Pa^{0,67}]$	8
Char. číslo místnosti	$M [-]$	0,7
Intenzita výměny vzduchu	$n_h [h^{-1}]$	0,5
Objem místnosti	$V_m [m^3]$	16,08
Přirozené větrání	$V_{vP} [m^3/s]$	0,0064288
Větrání požadované	$V_{vH} [m^3/s]$	0,002233333
Tepelná ztráta větráním	$Q_v [W]$	250,7232
Celková ztráta	$Q_c [W]$	661,9413127

106		
Rozměry	$L_i [m]$	$H_i [m]$
Stěna VÝCHOD	4,2	2,68
Stěna JIH	6,05	2,68
Okno1	1,2	1,3
Okno2	1,2	1,3
Podlaha	6,05	4,2
Sokl	10,25	1,3
Prostředí	$t [^{\circ}C]$	$\alpha [W/m^2K]$
Interiér	-15	23
Exteriér	20	8
Zemina	5	23
STĚNY	$L_i [m]$	$\lambda_i [W/mK]$
Omítka vápenná	0,02	0,88
Porotherm 36 P+D	0,36	0,174
Omítka vápen-cement	0,02	0,99
Součinitel prostupu tepla	$k [W/m^2K]$	0,45094382
Tepelná ztráta stěnami	$Q_{O,s} [W]$	384,3168704

<b>PODLAHA</b>	$L_i$ [m]	$\lambda_i$ [W/mK]
Štěrkopísek	0,25	0,7
Betonová mazanina	0,15	1,05
Hydroizolace	0,003	0,2
Polystyrénové desky	0,04	0,035
Cementový potěr	0,045	1,14
Mirelon	0,002	0,038
Plovoucí podlaha	0,01	0,04
Součinitel prostupu tepla	$k$ [W/m <sup>2</sup> K]	0,461160877
Tepelná ztráta podlahou	$Q_{O,po}$ [W]	167,7818561
<b>SOKL</b>	$L_i$ [m]	$\lambda_i$ [W/mK]
Betonová mazanina	0,5	1,05
Polystyrénové desky	0,04	0,035
Cementový potěr	0,06	1,14
Součinitel prostupu tepla	$k$ [W/m <sup>2</sup> K]	0,543431756
Tepelná ztráta soklem	$Q_{O,so}$ [W]	231,4747567
<b>OKNA A DVEŘE</b>		$k$ [W/m <sup>2</sup> K]
Okno1		1,2
Okno2		1,2
Tepelná ztráta okny a dveřmi	$Q_{O,s}$ [W]	131,04
<b>Základní tepelná ztráta</b>	$Q_O$ [W]	914,6134832
Celková plocha	$S$ [m <sup>2</sup> ]	103,45
Prům. souč. prostupu tepla	$k_c$ [W/mK]	0,252603323
Přirážka p1		0,037890499
Přirážka p2		0
Přirážka p3		0,05
<b>Tepelná ztráta prostupem</b>	$Q_P$ [W]	994,9993182
Délka spáry	$L$ [m]	10
Souč. spár. průvzdušnosti	$i_{LV}$ [m <sup>2</sup> /sPa <sup>0,67</sup> ]	0,00014
Souč. průvzdušnosti	$\Sigma i_{LV} L$ [m <sup>3</sup> /sPa <sup>0,67</sup> ]	0,0014
Char. číslo budovy	$B$ [Pa <sup>0,67</sup> ]	8
Char. číslo místnosti	$M$ [-]	0,7
Intenzita výměny vzduchu	$n_h$ [h <sup>-1</sup> ]	0,5
Objem místnosti	$V_m$ [m <sup>3</sup> ]	58,212
Přirozené větrání	$V_{vP}$ [m <sup>3</sup> /s]	0,00784
Větrání požadované	$V_{vH}$ [m <sup>3</sup> /s]	0,008085
<b>Tepelná ztráta větráním</b>	$Q_v$ [W]	367,8675
<b>Celková ztráta</b>	<b><math>Q_C</math> [W]</b>	<b>1362,866818</b>



<b>201</b>		
<b>Rozměry</b>	$L_i$ [m]	$H_i$ [m]
Stěna SEVER	2,65	0,8
Stěna VÝCHOD	7,2	2,4
Stěna JIH	2,65	0,8
Okno1	0,9	1,3
Okno2	0,9	1,3
Strop krokve	0,35	4,8
Strop zateplení	2,65	4,8
Strop střecha	2,65	3,95
<b>Prostředí</b>	$t$ [°C]	$\alpha$ [W/m²K]
Interiér	-15	23
Exteriér	20	8
Střecha	-6	23
<b>STĚNY</b>	$L_i$ [m]	$\lambda_i$ [W/mK]
Omítka vápenná	0,02	0,88
Porotherm 36 P+D	0,36	0,174
Omítka vápen-cement	0,02	0,99
Součinitel prostupu tepla	$k$ [W/m²K]	0,438524736
Tepelná ztráta stěnami	$Q_{O,st}$ [W]	260,7687345
<b>STROP KROKVE</b>	$L_i$ [m]	$\lambda_i$ [W/mK]
Sádrokarton	0,015	0,22
Parotěsná fólie	0,0003	0,039
Tep. izolace prefizol	0,06	0,04
Dřevěné krokve	0,14	0,22
Součinitel prostupu tepla	$k$ [W/m²K]	0,420041698
Tepelná ztráta stropem	$Q_{O,sk}$ [W]	24,69845182
<b>STROP ZATEPLENÍ</b>	$L_i$ [m]	$\lambda_i$ [W/mK]
Sádrokarton	0,015	0,22
Parotěsná fólie	0,0003	0,039
Tep. izolace prefizol	0,06	0,04
Tep. izolace prefizol	0,12	0,04
Součinitel prostupu tepla	$k$ [W/m²K]	0,210776923
Tepelná ztráta stropem	$Q_{O,sz}$ [W]	81,44420323
<b>STROP STŘECHA</b>	$L_i$ [m]	$\lambda_i$ [W/mK]
Sádrokarton	0,015	0,22
Parotěsná fólie	0,0003	0,039
Tep. izolace prefizol	0,06	0,04
Tep. izolace prefizol	0,12	0,04
Součinitel prostupu tepla	$k$ [W/m²K]	0,210776923
Tepelná ztráta stropem	$Q_{O,ss}$ [W]	57,36399361

OKNA A DVEŘE		k [W/m <sup>2</sup> K]
Okno1		1,2
Okno2		1,2
Tepelná ztráta okny a dveřmi	Q <sub>O,š</sub> [W]	98,28
Základní tepelná ztráta	Q <sub>O</sub> [W]	522,5553832
Celková plocha	S [m <sup>2</sup> ]	76,6875
Prům. souč. prostupu tepla	k <sub>c</sub> [W/mK]	0,194688232
Přirážka p1		0,029203235
Přirážka p2		0
Přirážka p3		0,1
Tepelná ztráta prostupem	Q <sub>P</sub> [W]	590,0712291
Délka spáry	L [m]	8,8
Souč. spár. průvzdušnosti	i <sub>L,V</sub> [m <sup>2</sup> /sPa <sup>0,67</sup> ]	0,00014
Souč. průvzdušnosti	Σi <sub>L,V</sub> L [m <sup>3</sup> /sPa <sup>0,67</sup> ]	0,001232
Char. číslo budovy	B [Pa <sup>0,67</sup> ]	8
Char. číslo místnosti	M [-]	0,7
Intenzita výměny vzduchu	n <sub>h</sub> [h <sup>-1</sup> ]	0,5
Objem místnosti	V <sub>m</sub> [m <sup>3</sup> ]	35,4523625
Přírozené větrání	V <sub>vP</sub> [m <sup>3</sup> /s]	0,0068992
Větrání požadované	V <sub>vH</sub> [m <sup>3</sup> /s]	0,004923939
Tepelná ztráta větráním	Q <sub>v</sub> [W]	313,9136
Celková ztráta	Q <sub>c</sub> [W]	903,9848291

202		
Rozměry	L <sub>i</sub> [m]	H <sub>i</sub> [m]
Stěna SEVER	3,35	0,8
Okno1	0,7	1
Strop krokve	0,42	2,4
Strop zateplení	3,35	2,4
Strop střecha	3,35	1,075
Prostředí	t [°C]	α [W/m <sup>2</sup> K]
Interiér	-15	23
Exteriér	20	8
Střecha	-6	23
STĚNY	L <sub>i</sub> [m]	λ <sub>i</sub> [W/mK]
Omítka vápenná	0,02	0,88
Porotherm 36 P+D	0,36	0,174
Omítka vápen-cement	0,02	0,99
Součinitel prostupu tepla	k [W/m <sup>2</sup> K]	0,438524736
Tepelná ztráta stěnami	Q <sub>O,š</sub> [W]	41,13362028

<b>STROP KROKVE</b>	$L_i$ [m]	$\lambda_i$ [W/mK]
Sádrokarton	0,015	0,22
Parotěsná fólie	0,0003	0,039
Tep. izolace prefizol	0,06	0,04
Dřevěné krokve	0,14	0,22
Součinitel prostupu tepla	$k$ [W/m <sup>2</sup> K]	0,420041698
Tepelná ztráta stropem	$Q_{O,sk}$ [W]	14,81907109
<b>STROP ZATEPLENÍ</b>	$L_i$ [m]	$\lambda_i$ [W/mK]
Sádrokarton	0,015	0,22
Parotěsná fólie	0,0003	0,039
Tep. izolace prefizol	0,06	0,04
Tep. izolace prefizol	0,12	0,04
Součinitel prostupu tepla	$k$ [W/m <sup>2</sup> K]	0,210776923
Tepelná ztráta stropem	$Q_{O,sz}$ [W]	51,87641641
<b>STROP STŘECHA</b>	$L_i$ [m]	$\lambda_i$ [W/mK]
Sádrokarton	0,015	0,22
Parotěsná fólie	0,0003	0,039
Tep. izolace prefizol	0,06	0,04
Tep. izolace prefizol	0,12	0,04
Součinitel prostupu tepla	$k$ [W/m <sup>2</sup> K]	0,210776923
Tepelná ztráta stropem	$Q_{O,ss}$ [W]	19,73557029
<b>OKNA A DVEŘE</b>		$k$ [W/m <sup>2</sup> K]
Okno1		1,2
Tepelná ztráta okny a dveřmi	$Q_{O,st}$ [W]	29,4
<b>Základní tepelná ztráta</b>	$Q_O$ [W]	156,9646781
Celková plocha	$S$ [m <sup>2</sup> ]	42,16625
Prům. souč. prostupu tepla	$k_c$ [W/mK]	0,106357693
Přirážka p1		0,015953654
Přirážka p2		0
Přirážka p3		0,1
<b>Tepelná ztráta prostupem</b>	$Q_P$ [W]	175,165306
Délka spáry	$L$ [m]	3,4
Souč. spár. průvzdušnosti	$i_{LV}$ [m <sup>2</sup> /sPa <sup>0,67</sup> ]	0,00014
Souč. průvzdušnosti	$\Sigma i_{LV} L$ [m <sup>3</sup> /sPa <sup>0,67</sup> ]	0,000476
Char. číslo budovy	$B$ [Pa <sup>0,67</sup> ]	8
Char. číslo místnosti	$M$ [-]	0,7
Intenzita výměny vzduchu	$n_h$ [h <sup>-1</sup> ]	0,5
Objem místnosti	$V_m$ [m <sup>3</sup> ]	18,0305375
Přirozené větrání	$V_{VP}$ [m <sup>3</sup> /s]	0,0026656

Větrání požadované	$V_{vH} [m^3/s]$	0,002504241
Tepelná ztráta větráním	$Q_v [W]$	121,2848
Celková ztráta	$Q_c [W]$	296,450106

203		
Rozměry	$L_i [m]$	$H_i [m]$
Stěna JIH	2	0,8
Stěna ZÁPAD	3	0,8
Okno1	0,6	1,3
Strop krokve	0,28	2,4
Strop zateplení	2	2,4
Strop střecha	2	1,375
Prostředí	$t [^{\circ}C]$	$\alpha [W/m^2K]$
Interiér	-15	23
Exteriér	20	8
Střecha	-6	23
STĚNY	$L_i [m]$	$\lambda_i [W/mK]$
Omítka vápenná	0,02	0,88
Porotherm 36 P+D	0,36	0,174
Omítka vápen-cement	0,02	0,99
Součinitel prostupu tepla	$k [W/m^2K]$	0,438524736
Tepelná ztráta stěnami	$Q_{O,st} [W]$	118,3490559
STROP KROKVE	$L_i [m]$	$\lambda_i [W/mK]$
Sádrokarton	0,015	0,22
Parotěsná fólie	0,0003	0,039
Tep. izolace prefizol	0,06	0,04
Dřevěné krokve	0,14	0,22
Součinitel prostupu tepla	$k [W/m^2K]$	0,420041698
Tepelná ztráta stropem	$Q_{O,sk} [W]$	11,00845281
STROP ZATEPLENÍ	$L_i [m]$	$\lambda_i [W/mK]$
Sádrokarton	0,015	0,22
Parotěsná fólie	0,0003	0,039
Tep. izolace prefizol	0,06	0,04
Tep. izolace prefizol	0,12	0,04
Součinitel prostupu tepla	$k [W/m^2K]$	0,210776923
Tepelná ztráta stropem	$Q_{O,sz} [W]$	33,93339847
STROP STŘECHA	$L_i [m]$	$\lambda_i [W/mK]$
Sádrokarton	0,015	0,22
Parotěsná fólie	0,0003	0,039
Tep. izolace prefizol	0,06	0,04
Tep. izolace prefizol	0,12	0,04

Součinitel prostupu tepla	$k$ [W/m <sup>2</sup> K]	0,210776923
Tepelná ztráta stropem	$Q_{O,ss}$ [W]	17,38909619
<b>OKNA A DVEŘE</b>		$k$ [W/m <sup>2</sup> K]
Okno1		1,2
Tepelná ztráta okny a dveřmi	$Q_{O,s}$ [W]	36,504
<b>Základní tepelná ztráta</b>	$Q_O$ [W]	217,1840033
Celková plocha	$S$ [m <sup>2</sup> ]	32,15
Prům. souč. prostupu tepla	$k_c$ [W/mK]	0,173213704
Přirážka p1		0,025982056
Přirážka p2		0
Přirážka p3		0
<b>Tepelná ztráta prostupem</b>	$Q_P$ [W]	222,8268902
Délka spáry	$L$ [m]	3,8
Souč. spár. průvzdušnosti	$i_{LV}$ [m <sup>2</sup> /sPa <sup>0,67</sup> ]	0,00014
Souč. průvzdušnosti	$\Sigma i_{LV} L$ [m <sup>3</sup> /sPa <sup>0,67</sup> ]	0,000532
Char. číslo budovy	$B$ [Pa <sup>0,67</sup> ]	8
Char. číslo místnosti	$M$ [-]	0,7
Intenzita výměny vzduchu	$n_h$ [h <sup>-1</sup> ]	0,5
Objem místnosti	$V_m$ [m <sup>3</sup> ]	12,2045
Přirozené větrání	$V_{vP}$ [m <sup>3</sup> /s]	0,0029792
Větrání požadované	$V_{vH}$ [m <sup>3</sup> /s]	0,001695069
<b>Tepelná ztráta větráním</b>	$Q_v$ [W]	151,04544
<b>Celková ztráta</b>	<b><math>Q_C</math> [W]</b>	<b>373,8723302</b>

<b>204</b>		
<b>Rozměry</b>	$L_i$ [m]	$H_i$ [m]
Stěna ZÁPAD	1,3	2,4
Dveře1	0,9	1,97
Strop krokve	0	0
Strop zateplení	0	0
Strop střecha	1,3	5,45
<b>Prostředí</b>	$t$ [°C]	$\alpha$ [W/m <sup>2</sup> K]
Interiér	-15	23
Exteriér	20	8
Střecha	-6	23
<b>STĚNY</b>	$L_i$ [m]	$\lambda_i$ [W/mK]
Omítka vápenná	0,02	0,88
Porotherm 36 P+D	0,36	0,174
Omítka vápen-cement	0,02	0,99

Součinitel prostupu tepla	$k$ [ $\text{W/m}^2\text{K}$ ]	0,438524736
Tepelná ztráta stěnami	$Q_{O,s}$ [W]	17,7207846
<b>STROP KROKVE</b>	$L_i$ [m]	$\lambda_i$ [ $\text{W/mK}$ ]
Sádrokarton	0,015	0,22
Parotěsná fólie	0,0003	0,039
Tep. izolace prefizol	0,06	0,04
Dřevěné krokve	0,14	0,22
Součinitel prostupu tepla	$k$ [ $\text{W/m}^2\text{K}$ ]	0,420041698
Tepelná ztráta stropem	$Q_{O,sk}$ [W]	0
<b>STROP ZATEPLENÍ</b>	$L_i$ [m]	$\lambda_i$ [ $\text{W/mK}$ ]
Sádrokarton	0,015	0,22
Parotěsná fólie	0,0003	0,039
Tep. izolace prefizol	0,06	0,04
Tep. izolace prefizol	0,12	0,04
Součinitel prostupu tepla	$k$ [ $\text{W/m}^2\text{K}$ ]	0,210776923
Tepelná ztráta stropem	$Q_{O,sz}$ [W]	0
<b>STROP STŘECHA</b>	$L_i$ [m]	$\lambda_i$ [ $\text{W/mK}$ ]
Sádrokarton	0,015	0,22
Parotěsná fólie	0,0003	0,039
Tep. izolace prefizol	0,06	0,04
Tep. izolace prefizol	0,12	0,04
Součinitel prostupu tepla	$k$ [ $\text{W/m}^2\text{K}$ ]	0,210776923
Tepelná ztráta stropem	$Q_{O,ss}$ [W]	31,36044456
<b>OKNA A DVEŘE</b>		$k$ [ $\text{W/m}^2\text{K}$ ]
Dveře1		1,2
Tepelná ztráta okny a dveřmi	$Q_{O,s}$ [W]	63,828
<b>Základní tepelná ztráta</b>	$Q_O$ [W]	112,9092292
Celková plocha	$S$ [ $\text{m}^2$ ]	46,57
Prům. souč. prostupu tepla	$k_c$ [ $\text{W/mK}$ ]	0,080816856
Přirážka p1		0,012122528
Přirážka p2		0
Přirážka p3		0
<b>Tepelná ztráta prostupem</b>	$Q_P$ [W]	114,2779745
Délka spáry	$L$ [m]	5,74
Souč. spár. průvzdušnosti	$i_{LV}$ [ $\text{m}^2/\text{sPa}^{0,67}$ ]	0,00014
Souč. průvzdušnosti	$\Sigma i_{LV} L$ [ $\text{m}^3/\text{sPa}^{0,67}$ ]	0,0008036
Char. číslo budovy	$B$ [ $\text{Pa}^{0,67}$ ]	8
Char. číslo místnosti	$M$ [-]	0,7
Intenzita výměny vzduchu	$n_h$ [ $\text{h}^{-1}$ ]	0,5

Objem místnosti	$V_m [m^3]$	17,004
Přirozené větrání	$V_{vP} [m^3/s]$	0,00450016
Větrání požadované	$V_{vH} [m^3/s]$	0,002361667
Tepelná ztráta větráním	$Q_v [W]$	175,50624
Celková ztráta	$Q_c [W]$	289,7842145

205		
Rozměry	$L_i [m]$	$H_i [m]$
Stěna ZÁPAD	2,8	2,4
Stěna SEVER	2	0,8
Strop krokve	0,28	2,4
Strop zateplení	2	2,4
Strop střecha	2	1,175
Prostředí	$t [^{\circ}C]$	$\alpha [W/m^2K]$
Interiér	-15	23
Exteriér	20	8
Střecha	-6	23
STĚNY	$L_i [m]$	$\lambda_i [W/mK]$
Omítka vápenná	0,02	0,88
Porotherm 36 P+D	0,36	0,174
Omítka vápen-cement	0,02	0,99
Součinitel prostupu tepla	$k [W/m^2K]$	0,438524736
Tepelná ztráta stěnami	$Q_{O,st} [W]$	95,0107694
STROP KROKVE	$L_i [m]$	$\lambda_i [W/mK]$
Sádrokarton	0,015	0,22
Parotěsná fólie	0,0003	0,039
Tep. izolace prefizol	0,06	0,04
Dřevěné krokve	0,14	0,22
Součinitel prostupu tepla	$k [W/m^2K]$	0,420041698
Tepelná ztráta stropem	$Q_{O,sk} [W]$	8,468040625
STROP ZATEPLENÍ	$L_i [m]$	$\lambda_i [W/mK]$
Sádrokarton	0,015	0,22
Parotěsná fólie	0,0003	0,039
Tep. izolace prefizol	0,06	0,04
Tep. izolace prefizol	0,12	0,04
Součinitel prostupu tepla	$k [W/m^2K]$	0,210776923
Tepelná ztráta stropem	$Q_{O,sz} [W]$	26,1026142
STROP STŘECHA	$L_i [m]$	$\lambda_i [W/mK]$
Sádrokarton	0,015	0,22
Parotěsná fólie	0,0003	0,039

Tep. izolace prefizol	0,06	0,04
Tep. izolace prefizol	0,12	0,04
Součinitel prostupu tepla	$k [W/m^2K]$	0,210776923
Tepelná ztráta stropem	$Q_{O,ss}[W]$	10,40184117
Základní tepelná ztráta	$Q_O [W]$	139,9832654
Celková plocha	$S [m^2]$	30,394
Prům. souč. prostupu tepla	$k_c [W/mK]$	0,153520723
Přirážka p1		0,023028108
Přirážka p2		0
Přirážka p3		0,1
Tepelná ztráta prostupem	$Q_P [W]$	157,2051418
Délka spáry	$L [m]$	0
Souč. spár. průvzdušnosti	$i_{LV} [m^2/sPa^{0,67}]$	0
Souč. průvzdušnosti	$\Sigma i_{LV}L [m^3/sPa^{0,67}]$	0
Char. číslo budovy	$B [Pa^{0,67}]$	8
Char. číslo místnosti	$M [-]$	není do okolí
Intenzita výměny vzduchu	$n_h [h^{-1}]$	0,5
Objem místnosti	$V_m [m^3]$	11,2445
Přirozené větrání	$V_{vP} [m^3/s]$	0
Větrání požadované	$V_{vH} [m^3/s]$	0,001561736
Tepelná ztráta větráním	$Q_v [W]$	60,90770833
Celková ztráta	$Q_c [W]$	218,1128501

206		
Rozměry	$L_i [m]$	$H_i [m]$
Stěna JIH	3,35	0,8
Okno1	0,7	1
Strop krokve	0,42	2,4
Strop zateplení	3,35	2,4
Strop střecha	3,35	1,375
Prostředí	$t [^{\circ}C]$	$\alpha [W/m^2K]$
Interiér	-15	23
Exteriér	20	8
Střecha	-6	23
STĚNY	$L_i [m]$	$\lambda_i [W/mK]$
Omítka vápenná	0,02	0,88
Porotherm 36 P+D	0,36	0,174
Omítka vápen-cement	0,02	0,99
Součinitel prostupu tepla	$k [W/m^2K]$	0,438524736



Tepelná ztráta stěnami	$Q_{O,s} [W]$	30,38976424
<b>STROP KROKVE</b>	$L_i [m]$	$\lambda_i [W/mK]$
Sádrokarton	0,015	0,22
Parotěsná fólie	0,0003	0,039
Tep. izolace prefizol	0,06	0,04
Dřevěné krokve	0,14	0,22
Součinitel prostupu tepla	$k [W/m^2K]$	0,420041698
Tepelná ztráta stropem	$Q_{O,sk} [W]$	14,81907109
<b>STROP ZATEPLENÍ</b>	$L_i [m]$	$\lambda_i [W/mK]$
Sádrokarton	0,015	0,22
Parotěsná fólie	0,0003	0,039
Tep. izolace prefizol	0,06	0,04
Tep. izolace prefizol	0,12	0,04
Součinitel prostupu tepla	$k [W/m^2K]$	0,210776923
Tepelná ztráta stropem	$Q_{O,sz} [W]$	51,87641641
<b>STROP STŘECHA</b>	$L_i [m]$	$\lambda_i [W/mK]$
Sádrokarton	0,015	0,22
Parotěsná fólie	0,0003	0,039
Tep. izolace prefizol	0,06	0,04
Tep. izolace prefizol	0,12	0,04
Součinitel prostupu tepla	$k [W/m^2K]$	0,210776923
Tepelná ztráta stropem	$Q_{O,ss} [W]$	25,2431713
<b>OKNA A DVEŘE</b>		$k [W/m^2K]$
Okno1		1,2
Tepelná ztráta okny a dveřmi	$Q_{O,s} [W]$	29,4
<b>Základní tepelná ztráta</b>	$Q_O [W]$	151,728423
Celková plocha	$S [m^2]$	56,44345
Prům. souč. prostupu tepla	$k_c [W/mK]$	0,076804267
Přirážka p1		0,01152064
Přirážka p2		0
Přirážka p3		-0,05
<b>Tepelná ztráta prostupem</b>	$Q_P [W]$	145,8900104
Délka spáry	$L [m]$	3,4
Souč. spár. průvzdušnosti	$i_{LV} [m^2/sPa^{0,67}]$	0,00014
Souč. průvzdušnosti	$\Sigma i_{LV} L [m^3/sPa^{0,67}]$	0,000476
Char. číslo budovy	$B [Pa^{0,67}]$	8
Char. číslo místnosti	$M [-]$	0,7
Intenzita výměny vzduchu	$n_h [h^{-1}]$	0,5
Objem místnosti	$V_m [m^3]$	20,4425375

Přirozené větrání	$V_{vP}$ [m <sup>3</sup> /s]	0,0026656
Větrání požadované	$V_{vH}$ [m <sup>3</sup> /s]	0,002839241
Tepelná ztráta větráním	$Q_v$ [W]	129,18548
Celková ztráta	$Q_C$ [W]	275,0754905

Celková ztráta prostupem	$Q_{O, RD}$ [W]	4283,818812
Celková ztráta větráním	$Q_{v, RD}$ [W]	2306,500208
Celková ztráta	$Q_{C, RD}$ [W]	6590,319021

## Příloha č. 2: Výpočet TČ v programu EES

```
"Teplné čerpadlo voda/voda"
"Chladivo=R404A"
t_v=+7 [°C] "Teplota vstupní je o 3°C vyšší než teplota vypařovací"
t_k=+55 [°C] "Teplota výstupní je o 5°C nižší než kondenzační"
Qk=10 [kW]
x[1]=1
x[0]=0
eta_el=0,95 [%] "Účinnost kompresoru"
w_s=10 "Rychlost proudění v sacím potrubí m/s"
w_v=12 "Rychlost proudění ve výtlačném potrubí m/s"
w_k=0,8 "Rychlost proudění kapaliny v potrubí před expanzním ventilem (0,4-0,8) m/s"
p_k=Pressure(R404A;t=t_k;x=x[0])
p_v=Pressure(R404A;t=t_v;x=x[1])
s[1]=Entropy(R404A;t=t_v;x=x[1])
p[1]=p_v
p[2]=p_k
p[3]=p_k
p[4]=p_k
p[5]=p[1]
h[1]=Enthalpy(R404A;t=t_v;x=x[1])
h[2]=Enthalpy(R404A;p=p_k;s=s[1])
h[3]=Enthalpy(R404A;x=x[1];p=p_k)
h[4]=Enthalpy(R404A;p=p_k;x=x[0])
h[5]=h[4]
t[1]=t_v
t[2]=Temperature(R404A;p=p_k;s=s[1])
t[3]=Temperature(R404A;p=p_k;x=x[1])
t[4]=t_k
t[5]=Temperature(R404A;p=p_v;h=h[4])
"Výpočty"
a_ie=h[2]-h[1] "Izotropická měrná práce komp. [kJ/kg]"
q_ch=h[1]-h[5] "Měrná chladivost [kJ/kg]"
q_t=q_ch+a_ie "Měrná topivost [kJ/kg]"
m=Qk/q_t "Hmotnostní průtok chladiva [kg/s]"
m_h=m*3600 "Hmotnostní průtok chladiva [kg/h]"
P_ie=m*a_ie "Izotropický příkon kompresoru [kW]"
epsilon_t=Qk/P_ie "Topný faktor [-]"
Qch=m*q_ch "Chladicí výkon [kW]"
epsilon_ch=Qch/P_ie "Chladicí faktor [-]"
sigma=p_k/p_v "Kompresní poměr [-]"
P_el=P_ie/eta_el "Příkon elektromotoru [kW]"
```

$\phi = \epsilon_t / \epsilon_{ch}$  "Čerpací poměr [-]"

"Tepelné bilance"

$Q_{k\_a} = m \cdot (h[2] - h[4])$  "pro kondenzátor"

$Q_{k\_b} = m \cdot (h[1] - h[5])$  "pro výparník"

$Q_{k\_c} = Q_{ch} + P_{ie}$  "celý oběh"

"Hustota chladiva kg/m<sup>3</sup>"

$\rho_s = \text{DENSITY}(\text{R404A}; t=t_v; x=x[1])$  "Plyn - sací potrubí"

$\rho_v = \text{DENSITY}(\text{R404A}; p=p_k; s=s[1])$  "Plyn - výtlačné potrubí"

$\rho_k = \text{DENSITY}(\text{R404A}; p=p_k; x=x[0])$  "Kapalina - kapalinové potrubí"

"Objemový průtok chladiva m<sup>3</sup>/h"

$v_s = m_h \cdot \rho_s$  "Sací"

$v_v = m_h \cdot \rho_v$  "Výtlačný"

$v_k = m_h \cdot \rho_k$  "Kapalinový"

"Průřez potrubí"

$S_s = v_s \cdot 1000 / (w_s \cdot 3,6)$  "Průřez sacího potrubí m<sup>2</sup>"

$S_v = v_v \cdot 1000 / (w_v \cdot 3,6)$  "Průřez výtlačného potrubí m<sup>2</sup>"

$S_k = v_k \cdot 1000 / (w_k \cdot 3,6)$  "Průřez kapalinového potrubí m<sup>2</sup>"

"Průměr potrubí "

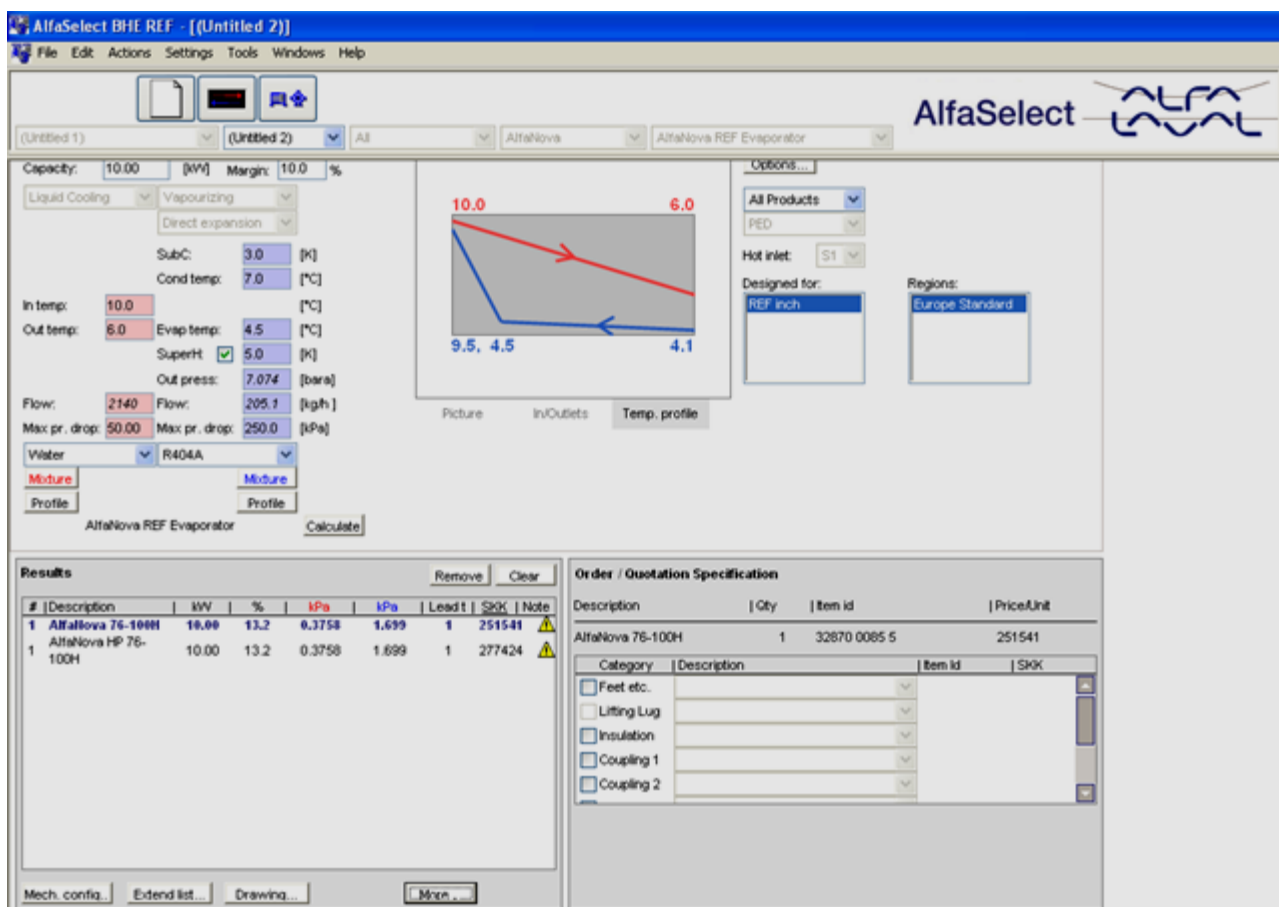
$d_s = (\sqrt{4 \cdot S_s / \pi})$  "Vnitřní průměr sací trubky mm"

$d_v = (\sqrt{4 \cdot S_v / \pi})$  "Vnitřní průměr výtlačné trubky mm"

$d_k = (\sqrt{4 \cdot S_k / \pi})$  "Vnitřní průměr kapalinové trubky mm"

## Příloha č. 3: Výpočet parametrů výměníků v programu ALFA LAVAL

### Návrh výparníku



Typ : AlfaNova 76-100HS1S2S3S4Weldi60.3

	Horká strana		Studená strana
	Primary side(S4)		Secondary side
Kapalina	Voda		R404A
Hmotnostní průtok	kg/h	2140	205.1
Zkondenzované médium/Odpařený	kg/h	0.000	205.1
Vstupní teplota	°C	10.0	4.1
Mez sytosti	°C		4.5
Výstupní teplota (plyn/liquid)	°C	6.0	9.5
Provozní tlak (Vstup/Výstup)	bara	/	7.09/7.07
Tlaková ztráta	kPa	0.376	1.70
Rychlost připojení (Vstup/Výstup)	m/s	0.315/0.315	0.0253/0.899

Výměna tepla	kW	10.00	
Rezerva	%	13	
Střední rozdíl teplot	K	1.8	
Relative direction of the fluids		Protiproud	
Počet chodů	1		1
Počet desek		100 (5,0 m)	
Skladba	1*49H		1*50H

Materiál deska / bonding		Alloy 316 / SS	
ZapojeníS1 (Horká-Vstup)	Svařovaný/ 60.3 (J23)	Alloy 316	
ZapojeníS2 (Horká-Výstup)	Svařovaný/ 60.3 (J23)	Alloy 316	
ZapojeníS3 (Studená-Vstup)	Svařovaný/ 60.3 (J23)	Alloy 316	
ZapojeníS4 (Studená-Výstup)	Svařovaný/ 60.3 (J23)	Alloy 316	

Kód tlakové nádoby		PED	
Návrhový tlak v 75.0 °C	Bar	30.0	30.0
Návrhový tlak v 225.0 °C	Bar	26.0	26.0
Návrhová teplota	°C	-196.0/225.0	

Celková délka x šířka x výška	mm	336 x 191 x 618	
Čistá váha, prázdná/provozní	kg	57.7 / 57.7	

Priceincl Extras RCPL: 251541 SKK

---

Provoz výměníku bude odpovídat této specifikaci jen v případě dodržení provozních podmínek, pro které byla tato specifikace vypracována.

**Physical Properties**

---

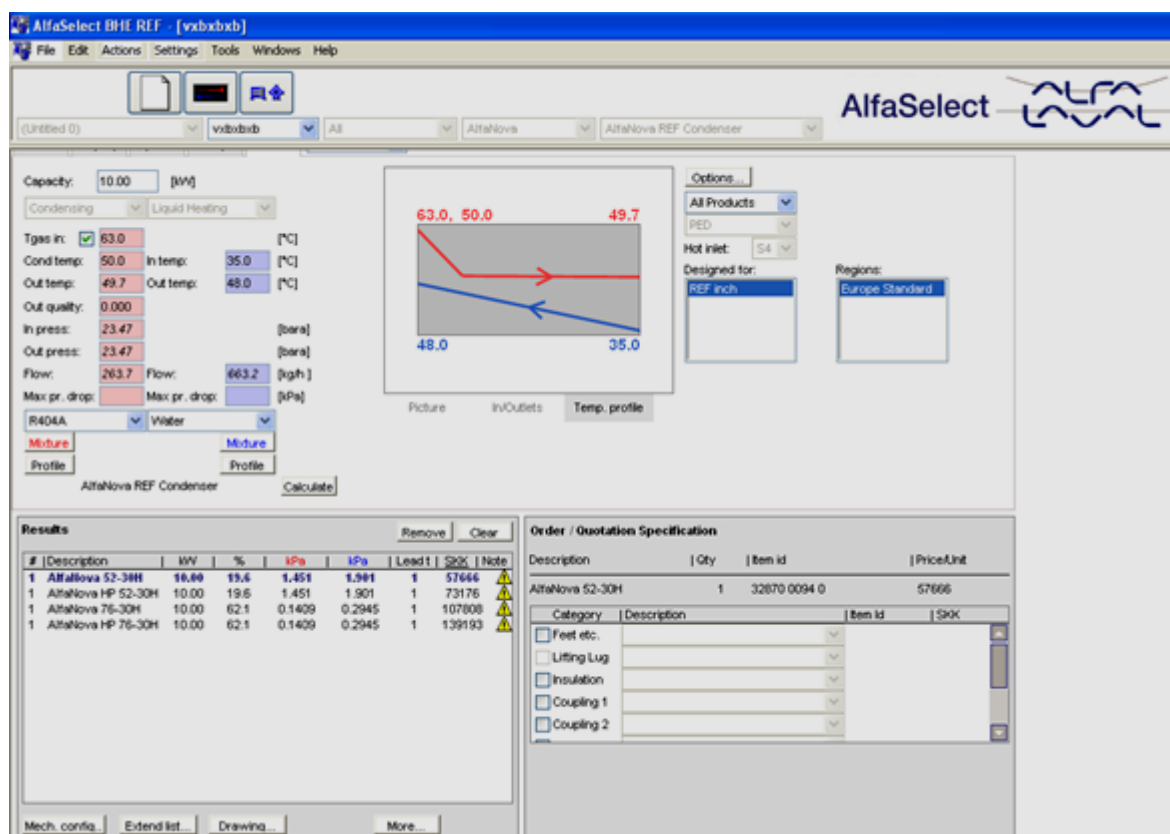
(vstup/výstup)	Horká strana		Studená strana	
	Kapalina	Plyn	Kapalina	Plyn
Hust	1000/1001		1193/1172	34.69/33.62
Sp. teplo	4.204/4.209		1.393/1.423	1.407/1.021
Visk	1.31/1.47		0.193/0.181	0.0117/0.0121
Tep. vodivost	0.587/0.580		0.0842/0.0814	0.0126/0.0130
Bub. p.				/4.0
Mez sytosti				/4.5
Mol.W				97.60/97.60
Cr.pr.				37.29/37.29
Cr.temp.				72.0/72.0
Lat. teplo				169.1/163.6

**Standardní materiály**

Koncové desky	Nerezová ocel AISI 316
Připojovací hrdla	Nerezová ocel AISI 316
Desky	Nerezová ocel AISI 316
AlfaFusion* pasta	Nerezová ocel AISI 316

\* patentovaná technologie firmy Alfa Laval

## Návrh kondenzátoru



Typ : AlfaNova 52-30HS1S2ThreaExt1 "S3S4Solde1 1/8"

	Horká strana		Studená strana	
	Primary side		Secondary side	
Kapalina		R404A		Voda
Hmotnostní průtok	kg/h	263.7		663.2
Zkondenzované médium/Odpařený	kg/h	263.7		0.000
Vstupní teplota	°C	63.0		35.0
Mez sytosti	°C	50.0		
Výstupní teplota (plyn/liquid)	°C	49.7/45.5		48.0
Provozní tlak (Vstup/Výstup)	bara	23.5/23.5		
Tlaková ztráta	kPa	1.45		1.90
Rychlost připojení (Vstup/Výstup)	m/s	1.53/0.178		
		0.447/0.449		
Výměna tepla	kW	10.00		
Rezerva	%	20		



Sřední rozdíl teplot	K	6.8	
Relative direction of the fluids		Protiproud	
Počet chodů		1	1
Počet desek		30 (0,45 m)	
Skladba		1*14H	
1*15H			
Materiál deska / bonding		Alloy 316 / SS	
ZapojeníS1 (Studená-Výstup)	Závit (vnější)/ 1" ISO 228/1-G (B21)	Alloy 316	
ZapojeníS2 (Studená-Vstup)	Závit (vnější)/ 1" ISO 228/1-G (B21)	Alloy 316	
ZapojeníS3 (Horká-Výstup)	Pájený/ 1 1/8" (H21)	Alloy 316	
ZapojeníS4 (Horká-Vstup)	Pájený/ 1 1/8" (H21)	Alloy 316	
Kód tlakové nádoby		PED	
Návrhový tlak v 75.0 °C	Bar	30.0	25.0
Návrhový tlak v 225.0 °C	Bar	26.0	21.0
Návrhová teplota	°C	-196.0/225.0	
Celková délka x šířka x výška	mm	109 x 111 x 526	
Čistá váha, prázdná/provozní	kg	8.66 / 8.66	
Priceincl Extras RCPL:		57666 SKK	

Provoz výměníku bude odpovídat této specifikaci jen v případě dodržení provozních podmínek, pro které byla tato specifikace vypracována.

## Physical Properties

(vstup/výstup)	Horká strana		Studená strana	
	Kapalina	Plyn	Kapalina	Plyn
Hust	917.1/988.1	115.5/131.5	992.7/987.6	
Sp. teplo	1.880/1.738	1.427/1.937	4.179/4.174	
Visk	0.0991/0.115	0.0184/0.0165	0.721/0.565	
Tep. vodivost	0.0554/0.0616	0.0173/0.0162	0.624/0.640	
Bub. p.		49.7/49.7		
Mez sytosti		50.0/50.0		
Mol.W		97.60/97.60		
Cr.pr.		37.29/37.29		
Cr.temp.		72.0/72.0		
Lat. teplo	106.3/106.9			

**Standardní materiály**

Koncové desky	Nerezová ocel AISI 316
Připojovací hrdla	Nerezová ocel AISI 316
Desky	Nerezová ocel AISI 316
AlfaFusion* pasta	Nerezová ocel AISI 316

\* patentovaná technologie firmy Alfa Laval